

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
AREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETO, MORFOLOGIA E TECNOLOGIA DO
AMBIENTE CONSTRUÍDO
LINHA DE PESQUISA: TECNOLOGIA E CONFORTO NO AMBIENTE
CONSTRUÍDO
NÍVEL: DOUTORADO

Débora Nogueira Pinto Florêncio

AVALIAÇÃO DO MAPA SONORO DE TRÁFEGO VEICULAR NO
MUNICIPIO DE NATAL/RN

ORIENTADORA:

Profa. Dra. Virgínia Maria Dantas de Araújo

CO-ORIENTADORA:

Profa. Dra. Bianca Carla Dantas de Araújo

Natal, RN

2018

DÉBORA NOGUEIRA PINTO FLORÊNCIO

**AVALIAÇÃO DO MAPA SONORO DE TRÁFEGO VEICULAR NO
MUNICÍPIO DE NATAL/RN**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, sob orientação da Professora Dra. Virgínia Maria Dantas de Araújo e co-orientação da Professora Dra. Bianca Carla Dantas de Araújo.

Natal, RN

2018

EQUIPE DE AUXÍLIO NA TESE
MEDIÇÕES EM CAMPO:

Arq. Tamáris Brasileiro, arq. Renata Araújo, arq. Luciana Alves
e profa. Sonia Pinto

ELABORAÇÃO DE MAPAS FÍSICOS:

Arq. Karen Álvares e os estudantes de Arquitetura e Urbanismo:
Yngrid Martins, Eldenir Vasconcelos, Daianny Larissy,
Débora Galvão e Letícia Mendes

ESTATÍSTICA:

estat. Rosimere Monte e prof. Dr. Henrique Araújo

SINTAXE ESPACIAL:

Arq. Nicholas Martino

REVISÃO DE LÍNGUA PORTUGUESA E ABNT:

Yuri Simonini e Pedro Bezerra

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Dr. Marcelo

Bezerra de Melo Tinôco - DARQ - CT

Florêncio, Débora Nogueira Pinto.

Avaliação do mapa sonoro de tráfego veicular no município de Natal/RN /
Débora Nogueira Pinto Florêncio. - Natal, 2018.
209f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro
de Tecnologia. Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Virgínia Maria Dantas de Araújo.

Coorientadora: Bianca Carla Dantas de Araújo.

1. Acústica Arquitetônica - Mapa Sonoro - Tese. 2. Mapa de ruído - Tese. 3.
Mapeamento acústico - Tese. 4. Acústica ambiental - Tese. 5. Ruído de
tráfego - Tese. I. Araújo, Virgínia Maria Dantas de. II. Araújo, Bianca Carla
Dantas de. III. Título.

RN/UF/BSE15

CDU 534.84

TERMO DE APROVAÇÃO

DÉBORA NOGUEIRA PINTO FLORÊNCIO

AVALIAÇÃO DO MAPA SONORO DE TRÁFEGO VEICULAR NO MUNICÍPIO DE NATAL/RN

Tese aprovada por unanimidade para o grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Virgínia Maria Dantas de Araújo (Orientadora)
Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/ UFRN
Contato: virginiamdaraujo@gmail.com

Profa. Dra. Bianca Carla Dantas de Araújo (Co-Orientadora)
Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/ UFRN
Contato: dantasbianca@gmail.com

Profa. Dra. Ruth Maria da Costa Ataíde (Examinadora Interna PPGAU/UFRN)
Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/ UFRN
Contato: rataide_58@hotmail.com

Prof. Dr. Luiz Alessandro Pinheiro da Câmara de Queiroz (Examinador Interno UFRN)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PEC / UFRN.
Contato: alessandro@ct.com.br

Profa. Dra. Elcione Maria Lobato de Moraes (Examinadora Externa)
Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/ UFPA
Contato: elcione@hotmail.com

Profa. Dra. Maria Lygia Alves Niemeyer (Examinadora Externa)
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura – PROARQ/ UFRJ
Contato: lygianiemeyer@gmail.com

DEDICATÓRIA

A Deus; ao meu filho Márcio;
meu marido Márcio Florêncio;
aos meus pais Carlos e Sônia.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Virgínia Araújo, minha orientadora, que foi meu apoio constante ao longo deste percurso e de minha formação.

À professora Dra. Bianca Araújo, minha co-orientadora, que tanto me ensinou na vida profissional e acadêmica.

Ao Professor Henrique Araújo e a estatística Rosimere Monte, pela ajuda na análise estatística e enriquecimento do meu trabalho.

Ao Laboratório de Conforto Ambiental – LabCon/UFRN, pela disponibilização dos equipamentos de medição utilizados no trabalho de campo, bem como do software utilizado nas simulações computacionais. Em especial agradeço às bolsistas Tamáris Brasileiro, Renata Araújo, Luciana Alves, Débora Galvão e Letícia Mendes, que ajudaram na coleta dos dados.

Ao apoio da Universidade Potiguar, em especial aos colegas professores e aos alunos Eldenir Vasconcelos, Yngrid Martins e Daianny Larissy.

Aos órgãos públicos e privados do Rio Grande do Norte: SERTTEL, SEMOB, DETRAN e SEMURB pela disponibilização de dados, e à empresa Grom Acústica e Vibração pela ajuda com o suporte técnico no *software* utilizado nas simulações.

Aos meus irmãos, Carlos e Janaína, aos sogros Ana e Pedro e cunhados (as) obrigada pela disponibilidade em ajudar. Minhas sobrinhas Isabela e Maria Beatriz pelo carinho.

Aos familiares e amigos que estiveram sempre presentes me apoiando e torcendo. Obrigada a todos! Aos colegas arquitetos, Camila Furukava, Karen Álvares, Yuri Simonini, Marina Cortês e Nicholas Martino.

Aos membros da banca examinadora e aos meus professores da Universidade do Rio Grande do Norte que tanto contribuíram para a elaboração deste trabalho e minha formação profissional e acadêmica.

FLORÊNCIO, Débora Nogueira Pinto. **Avaliação do mapa sonoro de tráfego veicular no município de Natal/RN**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

RESUMO

A poluição sonora já é considerada, pela Organização Mundial de Saúde (OMS) a segunda maior causa de poluição no mundo. Num contexto geral, o desenvolvimento urbano foi acompanhado pelo crescimento acelerado das cidades e pelo aumento da circulação de veículos automotores, causando maiores níveis de poluição sonora. Os ambientes urbanos apresentam cenários acústicos complexos e seus estudos precisam considerar a participação de várias fontes sonoras. Ao avaliar possíveis soluções, os modelos computacionais se tornam facilitadores, uma vez que possibilitam a realização de rápidos cálculos, análises e relatórios. Com tal recurso, é possível conhecer os níveis de pressão sonora em qualquer ponto de uma área modelada, por meio de leitura direta no mapa sonoro. O **problema da pesquisa** consistiu em: de que forma se espacializa o ruído de tráfego no sistema viário no município de Natal? Para isso, levanta-se como **hipótese** que no município de Natal/RN, as vias definidas como arteriais e coletoras encontram-se em níveis de pressão sonora acima dos recomendados pela legislação. Portanto, esta pesquisa tem como **objetivo geral** avaliar a qualidade do ambiente sonoro e sua relação com a malha viária no município de Natal/RN, a partir do mapeamento do ruído de tráfego com auxílio de modelo computacional. Os **procedimentos metodológicos** consistiram na coleta e análise dos dados de tráfego, acústicos e mapas dos condicionantes físico-ambientais. Em seguida, foram elaborados os mapas sonoros processados através do *software* de simulação computacional. Tais mapas foram calibrados com base em dados quantitativos de medição acústica *in loco*. Como **resultados**, constatou-se que o fluxo veicular segue um padrão de crescimento com base em variáveis como largura e comprimento da via. E que existe forte correlação entre o fluxo veicular e os níveis de pressão sonora. O nível equivalente médio de ruído ($L_{Aeq, 7-22h}$) no município do Natal/RN apresenta 75.4% acima dos 55dB recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) para uso misto residencial e 15.3% excedente a 65dB, recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 1999). Na faixa lindeira (meio fio a 100m) 95.8% extrapolam os 65dB em vias arteriais. Por fim, a partir do diagnóstico dos atributos envolvidos, elaboraram-se as diretrizes para planejamento na acústica ambiental, com a finalidade de minimizar o impacto em relação ao ruído.

Palavras-chave: mapa sonoro; mapa de ruído; mapeamento acústico; acústica ambiental; ruído de tráfego.

ABSTRACT

Sound pollution is already considered by the World Health Organization (WHO) the second largest cause of global pollution. In a general context, urban development was accompanied by the accelerated growth of cities and the increased circulation of motor vehicles, causing higher levels of noise pollution. Urban environments present complex acoustic scenarios and studies about them need to consider the impact of several sound sources. Computational models become facilitators, evaluating possible solutions, since they enable fast calculations, analyzes and reports. With this feature, it is possible to know the sound pressure levels at any point in a modeled area, through direct reading on the sound map. The **research problem** appointed in this dissertation is: How traffic noise can be spatialized in Natal street system? The **hypothesis** points to sound pressure levels above those recommended by legislation in arterial and "secondary" streets of Natal/RN. Therefore, this research **aims** to evaluate the quality of the sound environment and its relation with the road network in Natal / RN, by mapping traffic noise with a computational model assistance. We gather and analyze traffic data, acoustic and physical-environmental conditioning maps as **methodological procedures**. Then, sound maps were processed through computer simulation software. These maps were calibrated based on quantitative acoustic measurement data on site. As **results**, it was verified that the vehicular flow follows a pattern of growth based on variables such as width and length of the track. There is a strong correlation between vehicle flow and sound pressure levels. The average equivalent level of noise (L_{Aeq} , 7-22h) in t Natal is 75.4% higher than the 55dB recommended by NBR 10151 (ABNT, 2000) for residential use and excess 15.3% on the 65dB World Health Organization recommendation (WHO, 1999). In the marginal street range (from curb to 100m) 95.8% extrapolate the 65dB in arterial pathways. Finally, from the diagnosis of the attributes involved, the guidelines for planning in the environmental acoustics were elaborated, in order to minimize the noise impact.

Keywords: sound map; noise map; acoustic mapping; environmental acoustics; traffic noise.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Gráfico do nível critério de avaliação.	28
Figura 2 — Barreira acústica.	31
Figura 3 — Variáveis da barreira acústica.	31
Figura 4 — Desenho esquemático de ruas em perfil “L” e “U”.	32
Figura 5 — Natal, suas regiões administrativas e bairros.	56
Figura 6 — Mapa do Uso do solo do município de Natal/RN.	60
Figura 7 — Mapa de gabarito do município de Natal/RN.	62
Figura 8 — Mapa da Topografia do município de Natal/RN.	64
Figura 9 — Mapa de ZPAs do município de Natal/RN.	66
Figura 10 — Mapa de áreas verdes do município de Natal/RN.	67
Figura 11 — Mapa de hierarquia viária do município de Natal/RN.	69
Figura 12 — Mapa de pavimentação do município de Natal/RN.	71
Figura 13 — Mapa de semáforos e obras viárias do município de Natal/RN. ...	73
Figura 14 — Esquema de inserção de dados no <i>Software</i> de simulação computacional.	77
Figura 15 — Gráfico do fluxo de veículos nos dias de semana com variação Semanal por tipo de rodovia.	81
Figura 16 — Gráfico do fluxo de veículos horário.	83
Figura 17 — Foto dos medidores de nível de pressão sonora.	84
Figura 18 — Fotos dos contadores manuais.	85
Figura 19 — Localização dos pontos de medição, P01 a P17.	86
Figura 20 — Gráfico da distribuição da frota de veículos no estado do Rio Grande do Norte, interior do RN e município do Natal.	88
Figura 21 — Aumento do fluxo médio mensal veicular por período do ano, dos radares eletrônicos no município de Natal/RN.	89
Figura 22 — Localização dos pontos de medição P57 a P109.	90
Figura 23 — Localização dos pontos de medição P110 a P123.	92
Figura 24 — Localização dos pontos de medição P124 a P168.	94
Figura 25 — Localização dos pontos de medição P169 a P174.	96

Figura 26 — Localização dos pontos de medição P175 a P192.	97
Figura 27 — Localização dos pontos de medição P18 a P56.	99
Figura 28 — Pontos de medição.	101
Figura 29 — Mapa da atenuação sonora pela distância.	104
Figura 30 — Tipificação de vias coletoras e arteriais.	115
Figura 31 — tipificação das vias locais.....	126
Figura 32 — Gráfico do fluxo veicular (veículos/hora) medido <i>in loco</i> , por pontos e tipo de veículos, média nos horários de pico.....	129
Figura 33 — Gráfico dos níveis de pressão sonora em (L_{Aeq} , dB) medido <i>in loco</i> , por ponto de medição, nos horários de pico.....	130
Figura 34 — Gráfico do nível de pressão sonora por frequência e grandezas de avaliação.....	132
Figura 35 — Mapa da Região Administrativa Norte.	134
Figura 36 — Mapa 3D da Região Administrativa Norte.....	135
Figura 37 — Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Norte.....	136
Figura 38 — Mapa da Região Administrativa Sul.....	137
Figura 39 — Mapa 3D da Região Administrativa Sul.	138
Figura 40 — Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Sul.	139
Figura 41 — Mapa da Região Administrativa Leste.	141
Figura 42 — Mapa 3D da Região Administrativa Leste.....	142
Figura 43 — Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Leste.....	143
Figura 44 — Mapa da Região Administrativa Oeste.....	144
Figura 45 — Mapa 3D da Região Administrativa Oeste.....	145
Figura 46 — Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Oeste.....	146
Figura 47 — Mapa sonoro diurno do município do Natal/RN (7-22h).....	148
Figura 48 — Dados de NPS por horário Gráfico dos níveis de pressão sonora em L_{Aeq} , por ponto de medição, nos horários diurno e pico.	150
Figura 49 — Mapa sonoro de pico 7-8h do município do Natal/RN.....	151
Figura 50 — Mapa sonoro de pico 17-18h do município do Natal/RN.....	152
Figura 51 — Gráfico das porcentagens de área do nível de pressão sonora do mapa sonoro	153

Figura 52 — Mapa sonoro dos intervalos de L_{Aeq}	155
Figura 53 — Esquema da localização das faixas lindeiras.....	157
Figura 54 — Localização das faixas lindeiras das vias arteriais e vias arteriais + coletoras.....	157
Figura 55 — Gráfico das porcentagens de área do nível de pressão sonora do mapa sonoro	158
Figura 56 — Esquema de zoneamento do uso do solo e perfil de escalonamento do gabarito.	160
Figura 57 — Mapa sonoro diurno da av. Salgado Filho (RASul).....	161
Figura 58 — Mapa sonoro diurno da av. João Medeiros Filho (RANorte).....	162
Figura 59 — Mapa sonoro diurno do anel viário UFRN (RASul).....	163
Figura 60 — Mapa sonoro diurno av. Silvio Pedrosa (RALeste).....	164
Figura 61 — Mapa sonoro diurno da av. Moema Tinôco (RANorte).....	165
Figura 62 — Mapa sonoro diurno da BR 101 Norte (RANorte).	166
Figura 63 — Esquema de diferentes hierarquias viárias.	167
Figura 64 — Gráfico do nível de pressão sonora pelo tempo e grandezas de avaliação.	168
Figura 65 — Gráfico da relação entre níveis de pressão sonora (L_{Aeq} , dB) e Fluxo veicular (veic./h).	169
Figura 66 — Mapa sonoro diurno da av. Salgado Filho e Prudente de Moraes (RASul).....	170
Figura 67 — Esquema entre vias com predominância de veículos leves e pesados.....	170
Figura 68 — Mapa sonoro diurno comparando via com fluxo predominante de veículos Leves na Av. Dep. Antônio Medeiros de Queiroz (RASul) e via com predominância de veículos pesado Av. Mor Gouveia (RAOeste).....	171
Figura 69 — Mapa sonoro diurno de cruzamentos semaforizados no bairro de Petrópolis (RALeste).	173
Figura 70 — Esquema de comparação entre obra viária tipo túnel e viaduto.	173
Figura 71 — Mapa sonoro diurno do cruzamento das Avenidas Tomaz Landim e Dr. João Medeiros Filho (RANorte).	174
Figura 72 — Mapa sonoro diurno do viaduto do Baldo e da Praça Marques de Tamandaré (RALeste).....	175

Figura 73 — Mapa sonoro diurno do cruzamento da av. Salgado Filho e av. Roberto freire (RASul).	176
Figura 74 — Mapa sonoro diurno do viaduto da Urbana (RAOeste).	177
Figura 75 — Esquema de barreira Acústica	178
Figura 76 — Mapa sonoro diurno da Prudente de Moraes (RASul).	179
Figura 77 — Mapa sonoro diurno da Av. Capitão Mor Gouveia e Av. Coronel Estevam (RAOeste).	180
Figura 78 — Simulação sonora de barreira acústica na BR 101 (RASul)	181
Figura 79 — Simulação de túnel	201
Figura 80 — Ábaco do nível de pressão sonora em fachada (L_{Aeq}).	203
Figura 81 — Ábaco da correção baseado na porcentagem de veículos pesados.	203
Figura 82 — Ábaco da correção baseado na relação entre a largura do túnel e a altura do receptor	203
Figura 83 — Ábaco da correção baseado na distância do receptor ao cruzamento.....	203

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Correções aplicadas ao nível de ruído.	26
Tabela 2 — Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre.....	29
Tabela 3 — Limites dos níveis de pressão sonora de tráfego Internacional.	48
Tabela 4 — Nível critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB. 50	
Tabela 5 — Limites de níveis de pressão sonora aceitáveis em função da finalidade de uso e ocupação do solo.	52
Tabela 6 — Níveis de pressão sonora por tipologia, segundo a lei estadual do Rio Grande do Norte.	53
Tabela 7 — Dados e informações dos pontos de medição, P01 a P17.	87
Tabela 8 — Dados e informações dos pontos de medição, P57 a P109.	91
Tabela 9 — Dados e informações dos pontos de medição, P110 a P123.	93
Tabela 10 — Dados de tráfego e características das vias dos pontos P124 a 168.	95
Tabela 11 — Dados de tráfego e características das vias dos P169 a P174....	96
Tabela 12 — Dados de tráfego e características das vias dos pontos P175 a P192.....	98
Tabela 13 — Dados de tráfego e características das vias dos pontos P18 a P56.	100
Tabela 14 — Atenuação por metro.	103
Tabela 15 — Dados da atenuação sonora pela distância.....	104
Tabela 16 — Estudos-testes com diferentes grids de cálculo no <i>software</i>	106
Tabela 17 —Teste com diferentes parâmetros no SoundPLAN®	108
Tabela 18 — Dados medidos e simulados	110
Tabela 19 — Correlação entre fluxo veicular com as variáveis analisadas. ...	113
Tabela 20 — Estatística exploratória da variável comprimento da via.....	114
Tabela 21 — Níveis de pressão sonora medidos <i>in loco</i> e simulados.	117
Tabela 22 — Estatísticas descritivas.	117
Tabela 23 — Teste <i>t-Student</i>	118
Tabela 24 — Resultado do Teste de hipótese.	119

Tabela 25 — Distribuição do fluxo veicular, segundo as classes de comprimento da via (m) e tipo de pavimentação.	120
Tabela 26 — Níveis de Pressão Sonoros medidos e simulados.....	122
Tabela 27 — Estatísticas descritivas.	122
Tabela 28 — Teste <i>t-Student</i>	123
Tabela 29 — Resultado do Teste de hipótese.	124
Tabela 30 — Porcentagem de área do nível de pressão sonora do mapa sonoro	154
Tabela 31 — Porcentagens dos intervalos dos níveis sonoros nas faixas lindeiras das vias arteriais e coletoras.....	159
Tabela 32 — Dados da estimativa de nível de pressão sonora em túneis 2016	204

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da utilização do modelo acústico de predição.....	43
Quadro 2 – Bairros por Região Administrativa.	57
Quadro 3 – Procedimentos de inserção de dados.	78
Quadro 4 – Parâmetros físico-ambientais.	80
Quadro 5 – Quadro esquemático do diagnóstico de acústica ambiental para o município do Natal/RN	183
Quadro 6 – Quadro esquemático das diretrizes de acústica ambiental para o município do Natal/RN.	185

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE QUADROS	15
INTRODUÇÃO	18
1. REFERÊNCIAS CONCEITUAIS	23
1.1 DEBATE CONCEITUAL	23
1.2 RUÍDO AMBIENTAL	25
1.2.1 Grandezas de avaliação aplicadas ao ruído ambiental	25
1.2.3 Ruído de tráfego veicular	34
1.3 CONTROLE DO RUÍDO AMBIENTAL	38
1.3.1 Mapas sonoros	39
1.3.2 Mapas sonoros no Brasil	44
1.3.3 Legislações e aspectos normativos	47
2. CONDICIONANTES FÍSICO-AMBIENTAIS QUE INTERFEREM NA ACÚSTICA AMBIENTAL	55
2.1 PADRÕES DE OCUPAÇÃO	59
2.1.1 Uso do solo	59
2.1.2 Gabarito	61
2.2 TOPOGRAFIA E ÁREAS VERDES	63
2.2.1 Topografia	63
2.2.2 Áreas Verdes	65
2.3 SISTEMA VIÁRIO E DE CIRCULAÇÃO	68
2.3.1 Hierarquia viária	68
2.3.2 Pavimentação	70
2.3.3 Semáforos, viadutos e túneis	72
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	74
3.1 ELABORAÇÃO DE MAPAS SONOROS NO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	75
3.1.1 Procedimentos para a simulação sonora computacional	76
3.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA GERAÇÃO DE MAPAS SONOROS	79
3.2.1 Parâmetros físico-ambientais	79
3.2.2 Parâmetros de tráfego e acústico	80
3.2.3 Os Instrumentos de Medição	84
3.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS	85

3.3.1 Registros dos radares eletrônicos	85
3.3.2 Pontos de medição por pesquisas anteriormente realizadas	87
3.3.3 Pontos de medição coletados <i>in loco</i> em 2016.....	98
3.3.4. Resumo da coleta dos dados	100
4. PROCESSAMENTO DOS DADOS	102
4.1 ATENUAÇÃO SONORA DAS ÁREAS VERDES	102
4.2 ACELERAÇÃO DO TEMPO DE CÁLCULO NO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	104
4.3 CALIBRAGEM DO MODELO	109
4.4 TIPIFICAÇÃO DO FLUXO VEICULAR DAS VIAS.....	111
4.4.1 Tipificação do fluxo veicular das vias arteriais e coletoras ..	111
4.4.2 Tipificação do fluxo veicular das vias locais	116
4.5 TABELA RESUMO DOS DADOS INSERIDOS	127
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	128
5.1 ANÁLISE DOS DADOS MEDIDOS <i>IN LOCO</i>	128
5.2 MAPA SONORO POR REGIÃO ADMINISTRATIVA	133
5.2.1 Região Administrativa Norte (RANorte)	133
5.2.2 Região Administrativa Sul (RASUL)	137
5.2.3 Região Administrativa Leste (RALeste)	140
5.2.4 Região Administrativa Oeste (RAOeste)	144
5.3. MAPA SONORO DO MUNICÍPIO DO NATAL/RN.....	147
5.3.1. Mapa Sonoro no período diurno	147
5.3.2. Mapa Sonoro no período de pico diurno.....	149
5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	153
5.4.1 Níveis de excedência.....	153
5.4.2. Profundidade do impacto do ruído de tráfego.....	156
5.4.3 Discussão dos condicionantes físico-ambientais que interferem na acústica ambiental	159
5.4.4 Diretrizes para planejamento de acústica ambiental para o município do Natal/RN	182
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	186
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191
APÊNDICES	201

INTRODUÇÃO

O problema de poluição sonora é um tema atualmente em evidência, o qual aborda o ruído excessivo das fontes perturbadoras do meio urbano, principalmente no centro das grandes cidades (GUEDES, 2005). Conforme a Organização Mundial de Saúde (OMS), a poluição sonora já é considerada a segunda causa de poluição no mundo, perdendo apenas para a do ar (OMS, 2016). Os níveis de pressão sonora em ambientes urbanos produzem efeitos nocivos na saúde das pessoas (ZANNIN, SANTANA, 2011), sendo a principal forma de perda auditiva e surdez em indivíduos adultos. Além da perda auditiva, o ruído em excesso pode gerar problemas gastrointestinais, cardiovasculares e respiratórios. As repercussões na saúde e as maneiras de estabelecer controles têm sido objeto de crescentes estudos e de preocupações no campo da saúde pública, da fisiologia, da acústica e da engenharia (CARVALHO, 2010; SANTOS, 1994).

Qualitativamente, o ruído se diferencia do som por ser do tipo indesejável, geralmente de conotação negativa. O som é uma experiência tão comum no nosso cotidiano que raramente damos conta de todas as suas funções (BISTAFA, 2011). Do ponto de vista do fenômeno físico, o som é definido como qualquer variação de pressão que o ouvido possa detectar. Afirma-se que as moléculas do meio, ao vibrar, sofrem compressões e rarefações em busca de sua posição de equilíbrio, resultando, assim, nas ondas sonoras (CARVALHO, 2010).

O século XX, principalmente a partir da década de 1950, apresentou aumento no crescimento urbano e também um incremento nas atividades urbanas. Num contexto geral, o desenvolvimento urbano no Brasil foi acompanhado por um transporte público ineficiente e aumento no número de carros nas cidades. Isso é ainda mais problemático para as cidades onde o planejamento urbano não considera o ambiente acústico, nem qualquer programa efetivo de controle de ruído (GIUNTA et al, 2012).

A preocupação maior no setor de transporte tem sido para os impactos locais do automóvel, em termos de poluição do ar e sonora, e de desperdícios de tempo resultante dos congestionamentos (GUERRA; CUNHA, 2006). Para gestão do ruído do tráfego, podem ser adotadas algumas medidas, como a redistribuição dos fluxos de tráfego, a limitação do tráfego de mercadorias, a limitação de velocidade, dentre outros (TSUKERNIKOV et al, 2012). Nesse contexto, deve-se atentar a mobilidade urbana sustentável, através de coordenadas ao transporte seguro e eficaz, com desenvolvimento econômico e social com mínimos impactos ambientais (COSTA, 2003).

Ao avaliar uma possível solução nesse sentido, a fim de minimizar os efeitos da poluição sonora, Aline Ventura et al (2008, p.3), propõe e define o mapa sonoro¹ como:

uma ferramenta fundamental para o estudo do ruído ambiental. Baseado no levantamento dos níveis de ruído de uma cidade, através da medição ou através do uso de método predicional, o mapa acústico, nada mais é do que a representação de curvas isofônicas (similar às curvas topográficas dos mapas convencionais) - pontos de ruído com a mesma intensidade - de certa área geográfica. Os diversos níveis de intensidade sonora são separados por zonas com cores padronizadas em trechos de 5 dB.

As simulações computacionais calculam automaticamente para um número muito grande de pontos, os níveis de emissão sonora, a partir dos parâmetros do tráfego e das características físicas do local em estudo. Com isso, gera-se um mapa dos níveis de pressão sonora, utilizando, como mencionado pelos autores, uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este recurso, é possível conhecer os níveis de pressão sonora em qualquer ponto de uma área estudada, por meio de leitura direta no mapa do ruído. Assim, constitui-se numa importante ferramenta não só para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas (CALITXO, 2002). Estes modelos são extremamente úteis para a gestão ambiental e a tomada de decisões por parte das

¹ Para a tese utiliza-se o termo mapa sonoro, no entanto alguns autores o consideram como mapa de ruído ou mapa acústico.

autoridades públicas de soluções para os potenciais riscos ambientais, como é o caso do ruído urbano (ZANNIN; SANTANA, 2011).

Mapas sonoros e planos de ação de ruído encontram-se em fase de implantação em países da União Europeia, após a Diretiva 2002/49/CE (UNIÃO EUROPÉIA, 2002), permitindo simulações baseadas nos modelos e apoiado pelo processamento de resultados de medição acústica. É obrigatório para as autoridades responsáveis a elaboração de mapas estratégicos de ruído e planos de ação informar e consultar a sociedade de uma forma clara, compreensível e acessível (WILIŃSKA et al, 2012; UNIÃO EUROPÉIA, 2002).

Em 2011, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) adquiriu o *Software* SoundPLAN®, capaz de gerar mapas acústicos. A adesão do programa permitiu a elaboração de várias pesquisas na área de acústica urbana, a exemplo das dissertações de metrado intituladas: “Mapeamento acústico como ferramenta para predição de ruído urbano na área de influência do Estádio Arena das Dunas, Natal/ RN” (PINTO, 2013) e “Mapeamento sonoro: Estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB” (BRASILEIRO, 2017).

No Brasil, em relação à elaboração de mapeamento sonoro, verifica-se a realização de dois estudos os quais englobaram a cidade como um todo, nas cidades de Belém/PA (MORAES; SIMÓN, 2008) e de Fortaleza/CE (BRITO; COELHO, 2013). Vale ressaltar que em julho de 2016, a Lei nº 16.499, no Projeto de Lei nº 75/13 (BRASIL, 2016), define a obrigatoriedade, com estabelecimento de prazos e metas, da elaboração do mapa de ruído de toda a cidade de São Paulo/SP.

Ainda no cenário nacional, observa-se que são crescentes as pesquisas acadêmicas realizadas no campo da acústica urbana. Nesse sentido, destacam-se as universidades que possuem a licença do *Software* SoundPLAN®: Universidade Federal do Paraná, Universidade Católica de Brasília, Universidade Estadual de Maringá, Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal de Santa Maria, Universidade de Brasília, Universidade Federal de Itajubá, Universidade Federal de Mato Grosso e Universidade Tecnológica

Federal do Paraná (informações cedidas pela empresa fornecedora do SoundPLAN®).

Diante da necessidade exposta, a partir dos métodos de predição, pode-se ainda estabelecer medidas corretivas para a solução de problemas específicos de poluição sonora. Dentre as medidas usualmente utilizadas, têm-se: utilização de barreiras acústicas, restrição de tráfego, subvenções para a melhoria do isolamento acústico das fachadas daquelas edificações especialmente afetadas pela poluição sonora (KOTZEN; ENGLISH, 1999).

A presente pesquisa, dado as observações iniciais e as características inerentes aqui apresentadas, enquadra-se na pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGAU/ UFRN), na Área de Concentração II – Projeto, Morfologia e Tecnologia do Ambiente Construído, dentro da Linha de Pesquisa Conforto Ambiental e Eficiência Energética, que trata do Conforto térmico, acústico e luminoso; análise bioclimática; controle ambiental; eficiência energética.

Tomamos como problema da pesquisa: de que forma se espacializa o ruído de tráfego no sistema viário no município de Natal? Para isso, levanta-se como hipótese que no município de Natal/RN, as vias definidas como arteriais e coletoras encontram-se em níveis de pressão sonora acima dos recomendados pela legislação. O objetivo geral é avaliar a qualidade do ambiente sonoro e sua relação com a malha viária no município de Natal/RN, a partir do mapeamento do ruído de tráfego com auxílio de modelo computacional. Os objetivos específicos traçados são:

- Elaborar o mapa sonoro do município de Natal/RN;
- Analisar a relação entre a acústica ambiental e fluxo veicular;
- Confrontar a situação sonora de Natal/RN com a legislação sonora vigente;
- Avaliar a profundidade do impacto do ruído das vias nos lotes lindeiros;
- Propor diretrizes que auxiliem em uma melhor qualidade acústica para a cidade.

Essa tese está organizada em seis capítulos: “Capítulo 1 – Referências Conceituais”, com a abordagem teórica dos aspectos relacionados ao som e ruído, ao ruído ambiental com ênfase a propagação sonora ao ar livre a ao ruído de tráfego, e ao controle de ruído voltados a mapas acústicos e legislações pertinentes; “Capítulo 2 – Condicionantes físico-ambientais que interferem no ruído urbano” com a descrição dos mapas físicos da cidade necessários a concepção dos mapas sonoros; “Capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos” por meio da descrição dos métodos da pesquisa, envolvendo aspectos físicos, acústicos e estatísticos; “Capítulo 4 – Processamento dos dados” que trata de estudos específicos com a finalidade de avaliar corretamente os dados a serem inseridos para a simulação acústica ; “Capítulo 5 – Análise e Discussão dos dados” com a apresentação e apreciação dos mapas sonoros, envolvendo dados sonoros quantitativos; por fim o “Capítulo 6 – Considerações finais” apresentando as conclusões da pesquisa.

1. REFERÊNCIAS CONCEITUAIS

Este capítulo reúne uma abordagem teórica sobre o debate conceitual das variáveis que caracterizam o ruído, com destaque para o ruído ambiental com foco na propagação sonora ao ar livre e ruído de tráfego veicular; e, o controle de ruído através de mapas sonoros, legislações e aspectos normativos.

1.1 DEBATE CONCEITUAL

De acordo com Jian Kang (2007, p.13), “o som é a transmissão de energia através de meios sólidos, líquidos ou gasosos sob a forma de vibrações”. Isso significa que o som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo, no qual a menor pressão ambiente detectável pelo ouvido humano é na ordem de $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$, sendo esta o limiar da audibilidade (BISTAFA, 2011).

No aspecto físico, cada partícula de vibração se move apenas uma quantidade ínfima de ambos os lados da sua posição de equilíbrio. Ela é deslocada, em primeiro lugar, na direção de propagação da onda; depois, ele irá se mover de volta à sua posição sem perturbações e continuar em direção a um deslocamento máximo negativo (KANG, 2007). As oscilações contínuas da fonte propagam uma série de compressões e rarefações para o exterior a partir do meio, sendo o deslocamento máximo da posição de repouso definido como Amplitude (A).

Normalmente, ocorrem repetidas oscilações nas quais o número de oscilações por segundo é definido como a Frequência (f), gerando um som grave de um agudo, cuja unidade de frequência é Hertz (Hz).

O ouvido humano responde a uma faixa de Intensidade Acústica (I), desde o limiar da audição até o da dor. Devido à dificuldade em expressar numericamente as ordens de grandezas diferentes numa mesma escala linear, é utiliza-se a escala logarítmica, no qual o Nível de Intensidade Acústica (L_i) é dado por:

$$L_i = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{eq. 01}$$

No qual: I_0 é a intensidade de referência igual a 10^{-12}Watt/m^2 .

O estímulo físico que mais se correlaciona com a sensação de som é a pressão sonora (P), cuja intensidade acústica é proporcional ao quadrado da pressão acústica. O Nível de pressão sonora (L_p) é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons.

$$L_p = 20 \log P + 94 \text{dB} \quad \text{eq. 02}$$

Segundo Sylvio Bistafa (2011), Harvey Fletcher (1884-1981) verificou que 1dB era a mínima variação de Potência (W) detectável pelo sistema auditivo, sendo o Nível de Potência Sonora (L_w) a terceira grandeza acústica importante, definida por:

$$L_w = 10 \log(W) + 120 \text{dB} \quad \text{eq. 03}$$

Essas três grandezas possuem conceitos diferentes. No entanto, são relacionadas entre si, dadas por:

$$I_r = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p_{eficaz}^2}{\rho c} \quad \text{eq. 04}$$

No qual, $\rho c = 408 \text{ rayls}^2$

Por fim, os níveis sonoros nos seres humanos não são sensíveis para todos os tipos de frequências, sendo mais sensível à faixa de 2kHz e 5kHz, e menos sensível para frequências extremamente baixas ou altas. Com isso, foram criadas as curvas de compensação A, B, C e D. Cada curva possui finalidades próprias, no qual o circuito A é largamente utilizado por simular respostas do ouvido humano, o B e C são adequados para médios e altos níveis sonoros, e o D foi padronizado para medições de ruídos em aeroportos (GERGES, 2000).

Em meio a essa abordagem, as fontes sonoras correspondem aos elementos responsáveis pela emissão do som. A fonte sonora gerada de ondas esféricas é chamada de fonte pontual, já as vias de tráfego se caracterizam

² Rayls corresponde a unidade de Impedância acústica (resistência ou dificuldade que o material opõe à passagem do som), no qual 1 rayl = 1 Newton x segundo / metro cúbico.

pela fonte linear (NIEMEYER, 2007). Diferentemente da fonte pontual, o nível de pressão sonora da fonte linear cai 3dB ao se dobrar a distância da fonte, pois o som espalha-se a partir da fonte linear com uma frente de onda cilíndrica (BISTAFA, 2011).

1.2 RUÍDO AMBIENTAL

O ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa, considerado um dos grandes problemas de poluição das cidades (BISTAFA, 2011). Na análise do campo acústico em comunidade, é importante desenvolver relações entre a potência sonora das fontes, os níveis de pressão sonora do receptor e a influência dos vários caminhos de propagação (GERGES, 2000). Esta propagação é dada em termos de três componentes: a fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor. Inicialmente a fonte emite certa potência sonora, gerando um nível sonoro que pode ser medido nas imediações da fonte. Em uma cidade, o tráfego é tido como principal fonte sonora (BISTAFA, 2011).

1.2.1 Grandezas de avaliação aplicadas ao ruído ambiental

Sylvio Bistafa (2011, p.105), define ruído ambiente como “superposição de ruídos, normalmente de naturezas diferentes e origens distintas, próximas ou remotas”. É possível quantificar o ruído por meio de grandezas que poderão ser utilizadas de acordo com o objetivo a ser atingido. Para a pesquisa em ruído de tráfego, destaca-se o Leq (Nível equivalente), L_c (Nível corrigido), o L_{den} (Nível de ruído dia, fim de tarde e noite), níveis estatísticos (L_{10} , L_{50} , L_{90}) e o nível critério de avaliação. São estas:

1.2.1.1 *Nível equivalente médio de ruído (Leq)*

Segundo Bistafa (2011), Leq é a média energética ponderada, no qual cada fator de ponderação é a fração do tempo de ocorrência do nível sonoro, já que o potencial de danos de um dado ruído não depende somente de seu

nível, mas também de sua exposição. Para Samir Gerges (2000), uma exposição de um minuto a 100dB não é tão prejudicial quanto uma exposição de 60 minutos a 90dB. Nesse sentido, é possível estabelecer um valor único L_{eq} , para o nível sonoro integrado durante uma faixa de tempo, expresso na equação 05.

$$L_{eq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \quad (d) \quad \text{eq. 05}$$

T é o tempo de integração, P (t) é a pressão acústica instantânea, P_0 a pressão acústica de referência ($2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$) e L_{eq} representa o nível contínuo (estacionário) equivalente em dB.

1.2.1.2 Níveis de ruído corrigido (L_c)

O nível corrigido são reparações realizadas ao nível sonoro, as quais levam em consideração as características do ruído, a hora da ocorrência, a duração do ruído e o tipo de comunidade. As correções nos níveis sonoros são dadas de acordo com a Tabela 01:

Tabela 1 — Correções aplicadas ao nível de ruído.

Correções do nível de ruído medido	
Características do ruído	
Tom puro	+5
Impulsivo ou intermitente	+5
Horário comercial	-5
Duração do ruído	
Contínuo	0
≤ 30 min	-5
≤ 10 min	-10
≥ 5 min	-15
≤ 1 min	-20
≤ 15 s	-25
Local	
Residencial exclusivo	+5
Residencial	0
Residencial urbano	-5
Urbano próximo a indústrias	-10
Área de indústria pesada	-15

Fonte: Peterson, Gross, 1978, apud BISTAFA, 2011, adaptado pela autora.

1.2.1.3 Indicador de ruído dia, entardecer, noite (Lden)

O indicador de ruído da dia (*day*), entardecer (*evening*) e noite (*night*) (Lden), em decibels (dB), utilizado pela Diretiva Europeia nos mapas acústicos, é definido pela seguinte fórmula:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(10x10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4x10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8x10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad \text{eq. 06}$$

No qual L_{day} , $L_{evening}$ e L_{night} são os níveis sonoros médios ponderados a longo prazo, determinados durante todos os períodos do dia, do entardecer, e os noturnos de um ano, respectivamente (UNIÃO EUROPEIA, 2002).

1.2.1.4 Indicador de ruído dia, entardecer (Lde)

O indicador de ruído do dia e entardecer (Lde), em decibels (dB), utilizado é definido pela seguinte fórmula:

$$L_{de} = 10 \log \frac{1}{15} \left(10 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 5 * 10^{\frac{L_{evening}}{10}} \right) \quad \text{eq. 07}$$

No qual L_{day} e $L_{evening}$ são os níveis sonoros médios ponderados a longo prazo, determinados durante todos os períodos do dia e do entardecer, para os horários de 7-17h e 17-22h, respectivamente. Destaca-se a quantidade de horas alterada conforme período diurno adaptado para norma brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2000).

1.2.1.5 Níveis estatísticos - L10, L50, L90

Os níveis estatísticos registram níveis sonoros em função de um determinado tempo, utilizando-se grandezas estatísticas. A cada segundo, o nível de pressão sonora pode ser classificado na forma de número de medições em intervalos de tempo. Tais medidas são classificadas pelo tempo a depender do nível utilizado, no qual é determinado o nível sonoro excedido durante o período de medição da porcentagem pré-estabelecida (BISTAFA, 2011), sendo:

L_{90} nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo de medição, correspondendo ao ruído residual.

L_{50} nível sonoro que foi excedido em 50% do tempo de medição, correspondendo ao ruído mediano.

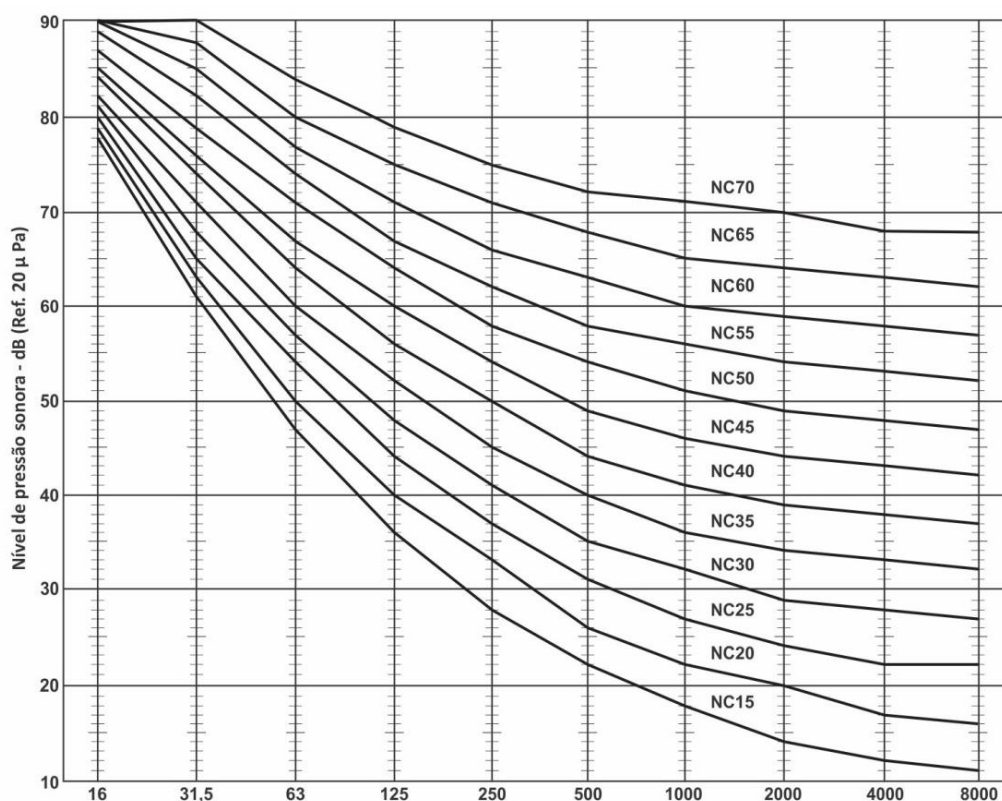
L_{10} nível sonoro que foi excedido em 10% do tempo de medição, referente ao ruído de pico.

Níveis estatísticos são geralmente utilizados para avaliar ruído do sistema de transporte, sobrevoos de aeronaves e linhas ferroviárias.

1.2.1.6 Nível critério de avaliação (NCA)

Conforme Sylvio Bistafa (2011), no sentido de limitar os níveis de ruído em ambientes de ocupação humana, foram criadas as curvas de critério de ruído. Cada curva associa um valor de nível critério a um espectro em bandas de oitava. O método de utilização dessas curvas consiste em medir o nível de ruído e plotar sobre as curvas de NCs (Figura 01). A curva de NCs imediatamente acima do nível plotado mais elevado é aquela que classifica o nível do ruído do ambiente.

Figura 1 — Gráfico do nível critério de avaliação.



Fonte: ABNT, 2017, adaptado pela autora.

1.2.2 Propagação sonora ao ar livre

Os cálculos dos níveis de ruído ao ar livre em grandes distâncias entre fonte e receptor requerem consideração pormenorizada de certo número de efeitos separados ou interativos. Esses efeitos incluem características como a fonte, a distância fonte-receptor, fatores de terra e de atenuação do ar, velocidade do vento e direção, temperatura e umidade relativa do ar, atenuação de barreira e de superfície refletora (KANG, 2007).

Grant Anderson e Ulrich Kurze (1992 apud BISTAFA, 2011) elaboraram uma tabela que resume os principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre, indicando, de forma simplificada, a descrição e atenuação gerada de 5dB para cada mecanismo verificado (Tabela 02).

Tabela 2 — Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre.

Mecanismo	Descrição sucinta	Atenuação aproximada de 5 dB	
		Condições	À distância de
Absorção do ar	Absorção sonora do ar atmosférico.	A 10°C e 70% de umidade relativa.	800m 1.500m em 500 Hz 250 m em 4 kHz
Solo Macio	Interferência (quase sempre destrutiva) entre o som direto e o refletido sobre solo acusticamente macio.	Para alturas da fonte e do receptor da ordem de 1,2m.	85m 10m - 250 e 500 Hz 50m - 125 e 1.000 Hz
Barreira	Atenuação provocada por uma barreira acústica entre a fonte e o receptor, combinada com uma atenuação adicional de solo acusticamente "macio".	Quando o receptor encontra-se na sombra acústica gerada pela barreira, em temperaturas normais e sem vento.	Todas
Edificações	Atenuação provocada por edificações entre a fonte e o receptor.	Quando uma fileira de edificações com aproximadamente 25% de abertura.	Todas
Vegetação Densa	Atenuação provocada por vegetação densa entre a fonte e o receptor.	Áreas com muitas árvores e vegetação densa no solo.	30m 100m - 500 Hz 50m - 4.000 Hz
Reverberação Urbana	Amplificação sonora devida a múltiplas reflexões em desfiladeiros urbanos.	Com edificações de no mínimo 10m de altura em ambos os lados da rua	Todas
Vento e Temperatura	Alteração de atenuação do solo e/ou barreira, ou criação de sombras acústicas causadas por gradientes verticais de temperatura e de ventos.	Em dias ensolarados, para alturas da fonte e do receptor na ordem de 1,2m.	150m 150m - 500 Hz 50m - 4.000 Hz

Fonte: ANDERSON; KURZE, 1992 apud BISTAFA, 2011.

- **Atenuação sonora do ar atmosférico**

O ar é um meio perfeitamente elástico, durante suas sucessivas compressões e rarefações – momentos em que ocorre a atenuação do som durante a sua passagem pelo ar. Isso é causado, principalmente, pelo relaxamento vibracional das moléculas de oxigênio e de nitrogênio (ANDERSON; KURSE, 1992, GERGES, 2000). O ar atmosférico absorve o som durante sua propagação, no caso macroscópico, e a energia é extraída da onda sonora por condução de calor e pelo atrito viscoso entre as moléculas de ar. Já no caso microscópico, a absorção se deve à relaxação térmica molecular (BISTAFA, 2011; GERGES, 2000).

- **Atenuação sonora do solo**

O fenômeno ocorre devido à absorção de energia acústica quando uma onda sonora colide com o solo, e também devido ao efeito de solo; ou seja, a interferência entre as ondas de som direto e refletido causada pela mudança na fase do reflexo. A interação com o solo depende da geometria da fonte ao receptor e as propriedades acústicas do solo superfície (KANG, 2007). Essa reflexão no solo gera um raio sonoro refletido, resultando em amplificação ou atenuação do nível de pressão sonora no receptor. Para o solo duro (como asfalto e concreto), o resultado é a amplificação do som. Já para o solo macio (como vegetação e terra arada), ocorre atenuação de banda larga no espectro sonoro (BISTAFA, 2011).

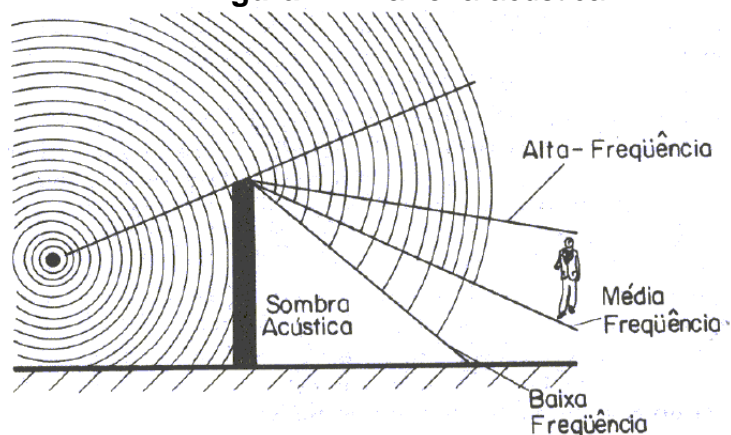
Observa-se que, em geral, as vias presentes nos centros urbanos são revestidas com materiais que apresentam características refletoras, resultando, assim, no aumento do ruído nas cidades (SOUSA, 2004).

- **Atenuação das barreiras acústicas**

Uma barreira acústica é qualquer obstáculo que impede a visão da fonte-receptor quando este se eleva, ao interferir com a linha de visão causando atenuação por difração, no qual, o obstáculo dificulta a propagação esférica do som por meio da reflexão ou difração pelas bordas das barreiras (GERGES, 2000). Para frequências relativamente baixas, as interferências a

partir de vários caminhos de som diminuem a área de sombra acústica (Figura 02).

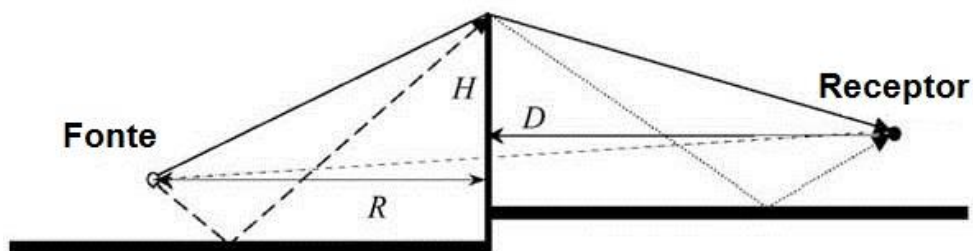
Figura 2 – Barreira acústica.



Fonte: GERGES, 2000.

A teoria de barreira acústica é análoga à teoria de difração óptica. A eficácia de uma barreira depende, principalmente, da diferença de frequência e do caminho — definida pela distância da fonte-barreira, fonte-receptor e alturas da fonte, barreira e receptor, no qual R é a distância entre a fonte e de barreira (m); D é a distância entre a barreira e o receptor (m) (Figura 03) (KANG, 2007; VALLE, 2009; BISTAFÁ, 2011). O comprimento da barreira necessária para evitar baixa eficiência depende de vários parâmetros, mas várias regras empíricas têm sido recomendadas para configurações típicas; o comprimento de barreira deve ser tal que a distância a partir da fonte é, pelo menos, duas vezes a distância normal da fonte para a barreira; ou ainda uma barreira deve cobrir um ângulo de 160° subtendidos do receptor, ou o comprimento da barreira deve ser superior a 4-5 vezes o altura (KANG, 2007).

Figura 3 – Variáveis da barreira acústica.



Fonte: Kang (2007), adaptada e traduzida pela autora, 2015.

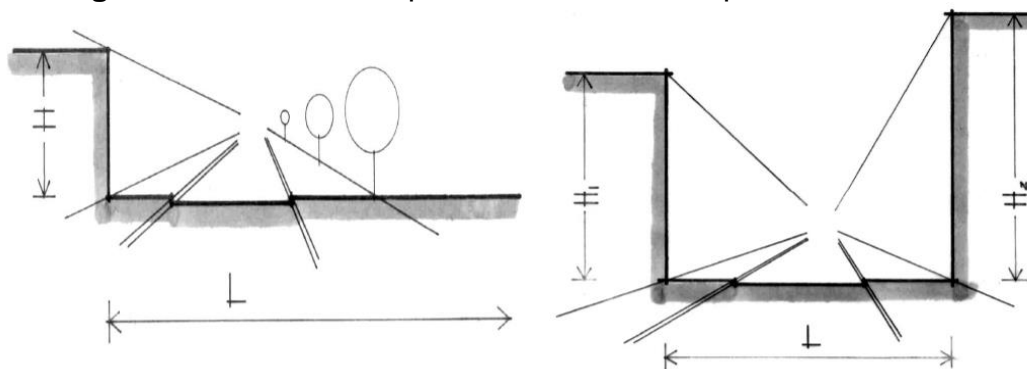
Edificações atenuam o nível de pressão sonora quando se interpõem entre a fonte e o receptor. O som que atinge o receptor é aquele que, a partir da fonte, é difratado no topo das edificações e se soma àquele que se transmite por meio das aberturas entre elas. Sendo assim, o edifício funciona como barreira (ANDERSON; KURSE, 1992).

Segundo Lygia Niemeyer (2007, p. 93),

uma via de circulação urbana margeada por edifícios determina uma ambiência acústica significativamente diferente de uma estrada, implantada em tecido urbano pouco denso. Consequentemente, a implantação ou o aumento do volume e da natureza do tráfego de uma via não pode ignorar as características do tecido urbano que a envolve.

Os níveis de pressão sonora podem variar conforme as características geométricas do entorno. Ruas com perfil “L” se configuram quando o espaço acústico é aberto, margeada por edifícios relativamente baixos; já as ruas em “U” são as do tipo cânion, margeadas por barreiras ou edificações coladas (NIEMEYER, 2007), conforme a Figura 04.

Figura 4 — Desenho esquemático de ruas em perfil “L” e “U”.



Fonte: NIEMEYER, 2007.

Possíveis soluções para amenizar o problema seriam o controle dos níveis de pressão sonora emitido pelos escapamentos dos carros e uma maior fiscalização de motos e ônibus, uma vez que, durante as medições, aparentaram maiores emissões de ruído. O mapa sonoro tende a ser uma ferramenta extremamente interessante para a municipalidade, que teria uma

ferramenta gráfica para criar ou rever suas leis de zoneamento e uso do solo (CANTIERI et al, 2010).

- **Atenuação de vegetação densa**

Em geral, as folhagens e os arbustos têm a propriedade de absorver o som, geralmente maior nas altas frequências. Já troncos e folhagens densas realizam o espalhamento sonoro no qual a contribuição de dispersão de troncos e galhos é relativamente menor que da resposta da folhagem (KANG, 2007).

Dessa forma, um cinturão verde funcionará como um elemento de atenuação, podendo tanto absorver como espalhar o som incidente sobre ele por meio do processo de difração. A vegetação – para servir como atenuadora acústica – deverá ter as seguintes características: largura superior a 15m afim de obter atenuação na ordem de 7dB (na faixa de frequência de 200 a 2000 Hz); cinturão localizado mais próximo da fonte para obter maior atenuação sonora; as árvores, que compõem o cinturão, deverão elevar-se pelo menos cinco metros acima da linha de visão, e o cinturão deverá ser formado por uma vegetação densa caracterizada pelo impedimento de visualização da fonte sonora pelo receptor (BISTAFA, 2011; GERGES, 2000; KANG, 2007).

Portanto, conforme Bistafa (2011), na implantação do cinturão verde, alguns fatores devem ser levados em consideração para a atenuação pretendida seja alcançada:

- Presença de sub-bosque denso;
- Vegetação com altura decrescente no sentido da fonte;
- Vegetação perenifólia (não apresente desfolhamento durante o ano).

A população em geral acredita, erroneamente, que o plantio de algumas poucas árvores gera atenuação do ruído significativo. Porém, como apresentado por Sylvio Bistafa (2011), para que a vegetação atue como barreira acústica e atenuar o som, é necessário que o cinturão verde apresente características e dimensões específicas. Danilo Souza (2012) justifica que isso acontece porque o acesso visual à fonte sonora pode influenciar na percepção do ruído – logo, a presença da vegetação pode causar efeito psicológico

favorável.

- **Efeito de gradientes de temperatura e de velocidade do vento**

As condições meteorológicas, principalmente os gradientes de vento e temperatura, influenciam diretamente no desempenho das ondas sonoras (SILVA, 2011). A velocidade do som é proporcional à temperatura e aumenta verticalmente para cima. Quando ocorrem estas variações das características do meio de propagação, ocasionando a alteração da direção de propagação raio sonoro, tem-se a chamada refração (BISTAFA, 2011). Em geral, quando o gradiente de temperatura é negativo ou quando a propagação sonora se dá a barlavento, ocorre aumento da atenuação, enquanto que, quando tal gradiente é positivo ou quando a propagação se dá a sotavento, ocorre a redução (ANDERSON; KURSE, 1992).

No caso do vento, normalmente há um gradiente de velocidade, a qual aumenta com a elevação da altura acima do solo. Como resultado, as ondas sonoras viajam do lado do vento a uma velocidade maior perto do chão, e em velocidades mais lentas progressivamente com o aumento da altura acima do solo. O efeito do gradiente de temperatura do ar na propagação do som é semelhante ao do vento. O aumento da temperatura do ar com a altitude, o que normalmente ocorre durante a noite, é a baixa da temperatura do ar e as convecções do ar, o que resulta em um aumento na velocidade do som (KANG, 2007; SILVA, 2011).

1.2.3 Ruído de tráfego veicular

Segundo Bistafa (2011), o século XX apresentou aumento no crescimento urbano e também um incremento nas atividades urbanas. Num contexto geral, o desenvolvimento urbano foi acompanhado por um aumento no número de carros nas cidades, causando elevados níveis de pressão sonora. Isso é ainda mais problemático para as cidades onde o planejamento urbano não considera o ambiente acústico, nem qualquer programa efetivo de controle de ruído (GIUNTA et al, 2012).

O meio de transporte é uma das formas de mobilidade urbana capaz de promover o deslocamento de pessoas. Dentro deste aspecto, deve-se atentar

para a Mobilidade Urbana que promova transporte seguro e eficaz, com desenvolvimento econômico e social com mínimos impactos ambientais (COSTA, 2003).

Naturalmente, a contribuição do ruído de tráfego se dá em função tanto da pista, quanto dos pneus, gerado pelas características geométricas (macroscópicas e microscópicas) da superfície da pista. Os pavimentos flexíveis (capas betuminosas sobre bases rígidas) são menos ruidosos do que pavimentos rígidos. O desgaste do pavimento, em geral, aumenta o nível de pressão sonora gerado pelos pneus (SANCHO; SENCHERMES, 1982).

Para manter a velocidade subindo uma ladeira, por exemplo, é necessário aumentar a potência do motor, aumentando a velocidade de giro, reduzindo a uma marcha mais curta. Nestes trechos, a fonte dominante do ruído do veículo são o motor e o escape. No caso dos veículos pesados, devido à sua baixa relação de potência/peso do veículo, são obrigados a aumentar a potência do motor, às vezes, até ao máximo. No entanto, nos casos dos automóveis, devido à relação do motor/peso do veículo, não obrigatoriamente, é necessário aumentar a potência do motor para subir uma ladeira, de acordo com sua inclinação.

Segundo Mestre Sancho e Garcia Sencherms (1982), o que ocorre, na realidade para tráfegos intermediários, é o agrupamento de veículos nos quais, em determinados momentos, o ruído de fundo é gerado pelos veículos da via, enquanto que, em outros, o nível de pressão sonora é superior ao esperado. Isso ocorre devido ao seu caráter aleatório, que é dado em função das variações do tipo de via e de veículos. Estas variações, segundo os autores, podem ocorrer em função do tipo de pavimentação, efeito da ladeira e fluidez do tráfego.

A fluidez do tráfego, neste caso, consiste no deslocamento de veículos sem interrupções do movimento, de forma que não se produzam acelerações, paradas ou intensidade do tráfego, obrigando-os a reduzirem significativamente suas velocidades e mudanças para marchas curtas. O tráfego se caracteriza por um regime de motor em marchas longas, velocidades médias e altas e

pouca interação entre os veículos com outros. A velocidade média é classificada segundo o tipo de via:

De acordo com o Código Brasileiro de Trânsito (BRASIL, 1997), as vias urbanas abertas à circulação, podem ser classificadas de acordo com sua utilização, em vias de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais, onde são permitidas velocidades de até 80 Km/h, 60 Km/h, 40 Km/h e 30 Km/h, respectivamente (BALZAN, 2011, p.30).

Relatórios de impacto ambiental geralmente incluem estimativas do ruído de tráfego em virtude da elaboração/execução de projeto para novas vias ou ampliação das existentes, a fim de que se possa avaliar o impacto causado pelo ruído nas comunidades localizadas no entorno da via; no entanto, não há parâmetros normativos aplicados ao ruído. Com o desenvolvimento da sociedade, ocorre um aumento do grau de urbanização e industrialização e, conseqüentemente, da extensão da malha de transporte. Assim, cada um desses fatores contribui para o aumento da poluição sonora.

Vias de tráfego veicular constituem fonte linear no qual o nível de pressão sonora cai 3dB ao se dobrar a distância da fonte, uma vez que o som se espalha a partir da fonte linear com uma frente de onda cilíndrica. Contudo, há de se destacar que cada tipo de veículo produz ruído diferente:

El ruido, generado por el tráfico rodado en calles, carreteras y autopistas constituye el tipo de ruido más común; en la vida actual un gran porcentaje de la comunidad lo considera como el <<ruido de fondo>> sobre el que se producen los demás tipos de ruido (SANCHO; SENCHERMES, 1982, p.139).³

Com o objetivo de se adequar ao crescimento do fluxo veicular, conforme Antonio Méndez et al (1994) há dois grandes grupos de vias:

- Rápidas – nas quais se supõem que não há edificações nas laterais;
- Urbanas – as ruas das cidades. Em suas margens, há presença de edificações, o que reforça o ruído devido as grandes quantidades de reflexões sucessivas nas fachadas.

3 O ruído gerado pelo tráfego nas ruas, estradas e rodovias é o tipo mais comum de ruído; na vida atual, uma grande porcentagem da comunidade o considera como o "ruído de fundo" no qual sob ele são produzidos os outros tipos de ruído. Traduzido pela autora.

Em áreas urbanas, a potência do som resultante do tráfego depende de vários fatores, entre os quais podemos destacar: tipo, qualidade e velocidade dos veículos; qualidade da pavimentação; fluxo veicular, com aceleração e frenagem; características dos pneus dos carros (MOTA, 1981). Vale destacar que cada tipo de veículo produzirá níveis de pressão sonora diferentes:

Cerca de una carretera, autopista o en una calle puede detectarse con facilidad que no todos los vehículos generan el mismo ruido ni suenan igual; cualquier persona es capaz de diferenciar el paso de un camión o autobús, del paso de un automóvil o una motocicleta (SANCHO; SENCHERMES, 1982, p.142).⁴

Uma primeira classificação dos veículos que formam o tráfego consiste no tamanho e no motor. O motor é o principal foco de ruído dos automóveis, propagando-o pelas explosões e pelos mecanismos internos por meio de sua estrutura, sendo os veículos pesados os produtores de maior nível de pressão sonora do que os de tipo leves (SANCHO; SENCHERMES, 1982). Vale ressaltar também que o ruído de tráfego se compõe pela sobreposição de ruídos de muitos veículos além das distintas condições dos mesmos (MENDEZ et al, 1994). É necessário, portanto, que, em áreas adjacentes a vias, o planejador considere a emissão do ruído, procurando minimizar os seus efeitos sobre áreas, por meio do adequado disciplinamento do uso do solo. O ruído existente em um determinado local provém de várias fontes e varia durante determinado período de tempo. Dessa forma, a sua avaliação não pode ser feita a partir de uma única medição *in loco* (MOTA, 1981).

A preocupação maior no setor de transporte se refere aos impactos locais do automóvel, em termos de poluição do ar e sonora, e de desperdícios de tempo resultante dos congestionamentos, além dos enormes custos envolvidos em se lidar com o problema da maneira convencional, ou seja, construindo mais vias (GUERRA; CUNHA, 2006). Para Suetônio Mota (1981) e

4 Perto de uma rodovia, estrada ou rua, pode-se facilmente detectar que nem todos os veículos geram o mesmo ruído ou som da mesma forma; qualquer um é capaz de diferenciar a passagem de um caminhão ou ônibus, a passagem de um carro ou uma motocicleta. Traduzido pela autora.

Tsukernikov et al (2012), para atenuar ruídos em tráfego de veículos, algumas medidas podem ser adotadas:

- Melhoria dos equipamentos dos veículos;
- Redistribuição dos fluxos de tráfego,
- Restrição ao tráfego de veículos pesados em determinadas áreas da cidade;
- Melhoria do fluxo de veículos, com objetivo de evitar acelerações e frenagem;
- Execução de barreiras arquitetônicas;
- Disciplinamento do uso do solo;
- Isolamento dos edifícios verticais;
- Projeto adequado para as vias e áreas adjacentes.

1.3 CONTROLE DO RUÍDO AMBIENTAL

De acordo com a OMS (1999), o ruído pode causar efeitos nocivos fisiologicamente e psicologicamente aos humanos, como distúrbio de sono, stress, dores de cabeça, ansiedade, entre outros. Determinar e prever esses níveis de pressão sonora no meio urbano suscita variadas discussões sobre a poluição sonora, ferramentas acústicas e o cumprimento das legislações.

Apesar do planejamento urbano ser importante para a prevenção dos problemas de ruído, é difícil empregá-lo quando tratamos de territórios já consolidados ou de cidades muito compactas. Em seu estudo referente ao ruído de tráfego, mobilidade urbana e planejamento urbano, Katiane Balzan (2011) desenvolve uma série de ações, constituindo um plano geral de combate ao ruído, o qual pode ser válido como instrumento de definição de planos de desenvolvimento territorial em municípios.

A seguir, são listadas algumas das ações propostas por Balzan (2011):

- Plano de mobilidade: contemplaria as necessidades e motivos de mobilidade do município, assim como os meios de transporte existentes no mesmo. O objetivo do plano deve ser a racionalização do tráfego,

com a proposição de ações destinadas à redução da densidade de tráfego, restrições de circulação de veículos pesados e implementação de ciclovias.

- Plano para descongestionar zonas saturadas acusticamente: organização a partir do desvio de tráfego a vias onde os conflitos fossem menores, alocação de vias para veículos pesados e definição de zonas e horários de carga e descarga, por exemplo.
- Plano de pavimentação: buscar a aplicação de materiais de revestimento menos ruidosos nas vias.
- Planejamento urbano: garantir que a configuração espacial da cidade, no que tange à malha urbana e às edificações, desenvolva de modo a minimizar o impacto acústico.

1.3.1 Mapas sonoros

Para minimizar problemas de ruído, inicialmente, devem-se desenvolver mapas estratégicos. Em segundo lugar, elaborar estimativas do grau de exposição da população durante o tempo de dia e de noite, relacionando-as com a recomendação dos valores-limite estabelecidos pela OMS por dia de tempo e em tempo noite. Por fim, deve-se investigar a utilidade de quatro medidas de redução de ruído para planejamento acústico: (1) redução de tráfego, (2) redução de velocidade, (3) combinação de tráfego e velocidade reduzidos, e (4) barreiras de ruído (MURPHY; KING, 2011).

Para o diagnóstico de uma determinada área, as ferramentas de análise de ruído ambiental são geradas por dados coletados em medições *in loco*, ou utilizando programas computacionais, com o uso de dados de entrada de nível de pressão sonora. Seu objetivo é a criação de uma representação visual do ruído ambiental de certa área geográfica. O mapeamento sonoro consiste numa ferramenta fundamental para o estudo, diagnóstico e controle do ruído ambiental com a finalidade de alcançar a mínima qualidade sonora estabelecida entre eles (GUEDES, 2005).

O mapa sonoro é representado por meio de curvas isofônicas com zonas que possuem o mesmo nível de pressão sonora. Estas zonas podem ser separadas em trechos de decibels, nos quais, em geral, os limites de cada curva são representados por cores padronizadas em trechos de nível de pressão sonora (GUEDES, 2005). Portanto, o mapeamento torna-se uma ferramenta adequada ao combate da poluição sonora, pois permite, a partir da leitura dos mapas, a identificação dos pontos críticos e sensíveis quanto ao ruído (GARAVELLI et al., 2010).

Durante o planejamento dos mapas acústicos, devem ser considerados alguns pontos: número e localização dos pontos de medição; dias, horários e duração das coletas dos dados acústicos; características dos dados meteorológicos, geométricos e de tráfego; além da configuração e posicionamento dos equipamentos (NAGEM, 2004). Os programas computacionais calculam automaticamente os níveis de emissão sonora para um número muito grande de pontos, a partir dos parâmetros do tráfego e das características físicas do local em estudo (GERGES, 2000, BRUEL; KJAER, 2000). Com isso, é capaz de gerar um mapa dos níveis de pressão sonora utilizando uma escala de cores relacionada a estes níveis.

Com este recurso, é possível conhecer os níveis de pressão sonora em qualquer ponto de uma área modelada, por meio de leitura direta no mapa. Constitui-se, assim, importante ferramenta não só para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas (CARLITXO, 2002).

Em relação à realização de mapeamento sonoro, surpreende que, no Brasil, exista apenas dois registros da realização de estudo de uma cidade inteira, realizado nas cidades de Belém (PA) e Fortaleza (CE). No entanto, é crescente o número de pesquisas realizadas no campo da acústica urbana, como as desenvolvidas no Instituto Alberto Luís Coimbra de Pós-Graduação, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE e PROARQ/ UFRJ), na Universidade de Brasília (UNB) e na Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR).

No caso da União Europeia, a Diretiva 2002/94/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, instituiu os mapas estratégicos de ruído como instrumentos para a gestão do ambiente sonoro. Constitui parte da política comunitária para atingir um elevado nível de proteção da saúde e do ambiente. O objetivo da diretiva define uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir, numa base prioritária, os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, incluindo o incômodo dela decorrente (UNIÃO EUROPEIA, 2002). Para esse efeito, coloca-se, progressivamente, em prática algumas ações, como a determinação da exposição ao ruído ambiente, a partir da elaboração de mapas de ruído, com base em métodos de avaliação comuns aos Estados-Membros. A elaboração de mapas de ruído⁵ estratégico deverá se tornar obrigatória em determinadas zonas de interesse, considerando que estes permitem a captação dos dados necessários para fornecer uma representação dos níveis de pressão sonora perceptíveis nessa zona.

De acordo com a Diretiva 2002/49/CE (UNIÃO EUROPEIA, 2002), no que se refere à avaliação e gestão do ruído ambiente, os municípios com mais de 250 mil habitantes em todos os estados membros da UE foram obrigados a desenvolver mapas estratégicos acústicos a partir do ano de 2007. Com base nos resultados encontrados, estes deveriam elaborar planos de ação contra o ruído, no prazo de um ano. Essas obrigações, posteriormente, incluíram municípios com mais de 100 mil habitantes, com perspectiva a partir de junho de 2012 para a preparação de mapa sonoro, os quais se encontram em processo de elaboração. Os planos de ação deveriam ser projetados para melhorar a gestão de problemas e efeitos do ruído. Essa não é uma tarefa fácil, se for levado em conta a complexidade das questões acústicas para o cidadão comum, por um lado, e a vulnerabilidade social dos problemas gerados pelo excesso de ruído, por outro (WILIŃSKA et al, 2012).

⁵ Segundo a Diretiva, a definição para a “Elaboração de mapas de ruído”, consiste numa compilação de dados sobre uma situação de ruído existente ou prevista em termos de um indicador de ruído, demonstrando a ultrapassagem de qualquer valor-limite pertinente em vigor, o número de pessoas afetadas em determinada zona e de habitações expostas a determinados valores de um indicador de ruído em dada zona (UNIÃO EUROPEIA, 2002, p.2)

Se o objetivo é a definição de um cenário futuro, ou um atual, porém sem dados de entrada de nível de pressão sonora, define-se o mapeamento como uma predição de ruído. Esta é realizada por expressões matemáticas, nomogramas ou, em situações mais complexas, utilizam-se programas computacionais. Para isso, é preciso considerar, nesses modelos, alguns aspectos; quais sejam as características geométricas das vias, correções devido à inclinação da pista, velocidade média real dos veículos, porcentagem de veículos pesados, fontes sonoras pontuais, dentre outros (GUEDES, 2005).

Conforme BRÜEL & KJÆR (2000), o cálculo é preferível e pode ser o único método possível de realizar a predição acústica, nos seguintes casos:

- Sempre que os níveis que serão medidos se encontrarem mascarados por ruído de fundo elevado – por exemplo, quando as determinações do ruído de uma instalação industrial ocorrem nas proximidades de uma estrada movimentada;
- Sempre que os níveis futuros precisam ser previstos;
- Quando necessite de cenários comparativos de redução de ruído;
- No momento em que os mapas de ruído de contorno precisam ser produzidos;
- Quando não há acesso à medição.

Em geral, afirma-se que os modelos de predição acústica apresentam certas vantagens quando comparados aos procedimentos de medições sistemáticas de parâmetros acústicos, uma vez que fornecem informações detalhadas das principais fontes sonoras, possibilidades de análises em maior número de pontos, e não sofrem interrupções diante de condições meteorológicas adversas; permitem, ainda, a avaliação de situações hipotéticas, simples atualizações e demonstram uma menor sensibilidade aos efeitos do ruído de fundo (GUEDES, 2005). Danilo Souza (2012) elaborou o Quadro 01 onde foram descritas as vantagens e desvantagens da utilização do modelo acústico de predição.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da utilização do modelo acústico de predição.

Vantagens	Desvantagens
<p>Interação em um único resultado numérico as contribuições de ruído das principais fontes sonoras de um local;</p> <p>Possibilita cálculo de valores de ruído em maior número de pontos por meio do mapeamento sonoro, comparando-se aos esforços e dispêndios de recursos e instrumental para as medições in loco, realizadas ponto a ponto;</p> <p>Permite visualizar a distribuição dos níveis de ruído provenientes de uma ou mais fontes sonoras e até mesmo de distintas fontes;</p> <p>Não está sujeita a interrupções diante de condições meteorológicas adversas;</p> <p>Permite atualizações, sem necessidade de recomençar todo o processo, a partir da inserção dos dados de entrada, tais como mudança nos fluxos de veículos ou atualizações de base cartográfica, como inserção de novas edificações ou novas vias;</p> <p>Desconsidera o ruído de fundo, ou seja, permite o estudo de uma fonte de ruído específica;</p> <p>Permite prever o impacto da implantação de uma nova determinada infraestrutura seja esta de transporte, empreendimentos ou maquinários numa região extensa.</p>	<p>Necessidade de coleta extensiva de dados e informações (acústicos, geométricos, composição e fluxo de veículos e de características de pavimentações e revestimentos do local) para alimentar o ambiente de simulação computacional associado à utilização prática destes modelos;</p> <p>Como em todo modelo computacional, faz-se necessário diversas aproximações na inserção de dados e informações no modelo, sejam estes relativos à topografia, vias, edificações, muros, revestimentos ou pavimentações;</p> <p>São necessárias aproximações quanto à inclusão dos dados de fluxo de veículos nos modelos. Convencionou-se a considerar-se as motocicletas (GUEDES, 2005 e NARDI, 2008) como veículos pesados, já que esse meio de transporte é mais ruidoso que os demais veículos leves, assemelhando-se à emissão sonora de veículos pesados (caminhões);</p> <p>A Calibração do Modelo, comparação dos resultados calculados com as medições realizadas no local, depende da precisão dos dados coletados, tanto dos dados de entrada do modelo de predição acústica como da precisão do modelo tridimensional onde serão computados os resultados da simulação acústica;</p> <p>Não é possível levar em consideração o comportamento aleatório do tráfego rodoviário, conduta dos motoristas (buzinas, etc.), nem considerar com precisão as variações de velocidades de distintas categorias de veículos (QUARTIERI, 2009).</p>

Fonte: Souza, 2012.

Com o objetivo de reduzir o risco de dados errôneos, recomenda-se utilizar arquivos GIS® ou AutoCAD® para gerar dados topográficos, medir níveis de potência sonora no local, contagens de tráfego e pontos de verificação selecionados. Finalmente, a habilidade do usuário e a experiência, tanto com a avaliação de ruído ambiente e com o algoritmo de cálculo, desempenham um papel importante na otimização do resultado.

Diante da necessidade exposta, a partir dos métodos de predição, pode-se, ainda, estabelecer medidas corretivas para a solução de problemas específicos de poluição sonora. Dentre as medidas usualmente utilizadas, têm-se: utilização de barreiras acústicas e subvenções para a melhoria do isolamento acústico das fachadas daquelas edificações especialmente afetadas pela poluição acústica.

1.3.2 Mapas sonoros no Brasil

Dentro do contexto de mapeamento sonoro, ruído de tráfego e poluição sonora, foram coletados, nas bases de pesquisas nacionais (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações — BDTD e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES), os trabalhos desenvolvidos na área com o objetivo de averiguar a situação atual do objeto da pesquisa dentro do contexto brasileiro, além da contribuição que tais pesquisas proporcionaram para o desenvolvimento desse trabalho. O texto a seguir, apresenta, em ordem cronológica, os mapeamentos acústicos realizados através de dissertações, teses e estudos em órgãos públicos.

Em 2003, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Marco Maia, com orientação do Prof. Dr. Miguel Sattler, realizou dissertação sobre o mapeamento de uma área da cidade de Porto Alegre, intitulada, “Contribuição ao mapeamento ao ruído Urbano de Porto Alegre” que trata de medições de ruído em pontos da cidade com medições de 24h (MAIA, 2003).

Em 2005, na Universidade Estadual de Campinas, foi desenvolvida a dissertação de mestrado intitulada “Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro: Um estudo no bairro de Jardins em Aracajú (SE)”, de Italo Guedes, sob orientação da Prof. Dra. Stelamaris Bertoli. Tal pesquisa realizou o mapeamento do bairro Jardins em Aracajú/SE e simulou mudanças na morfologia urbana, juntamente com o prof. Dr. Paulo Zannin. Vale ressaltar que tal pesquisa utilizou o *software* SoundPLAN®, sendo esse o mesmo dessa pesquisa (GUEDES, 2005).

Lygia Niemeyer desenvolveu, em 2007, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, a tese “Conforto acústico e térmico, em situação de verão, em ambiente urbano: uma proposta metodológica”, com orientação Dr. Paulo Lima no qual realizou medições acústicas no bairro de São Cristóvão, no Rio de Janeiro/RJ (NIEMEYER, 2007).

Como pioneiro no Brasil e importante para análise de toda uma cidade, o mapeamento de toda a cidade de Belém foi realizado, empregando, nessa pesquisa, o *Predictor*. Foram coletados dados morfológicos para a modelagem e utilizados dados do tráfego fornecidos pela prefeitura da cidade, juntamente com estimativas de ruído baseada nas linhas de ônibus para as demais vias que não possuíam sistema de coleta de fluxo veicular. Os mapas foram gerados por bairros e para a cidade toda, sendo nesse com 75% de ruído acima de 55dB (SIMÓN; MORAES; GUIMARÃES; FERNANDEZ, 2008, MORAES; SIMÓN, 2008).

Em 2009, na Universidade de Santa Maria – no Rio Grande do Sul –, Eliseu Mendonça, com orientação da Profa. Dra. Dinara Paixão, desenvolveu o trabalho sobre o ruído em Santa Maria/RS, intitulado “A contribuição do tráfego Veicular em área mista (residencial/ Comercial)” (MENDONÇA, 2009). Em 2011, na mesma universidade, foi realizada a dissertação de mestrado “Avaliação do ruído de tráfego veicular em área central de Chapecó – SC” elaborado por Katiane Balzan, e orientada pelo Prof. Dr. Erasmo Miranda. Ambos os trabalhos tratavam do mapeamento sonoro para o ruído veicular (BALZAN, 2011).

Em 2010, Rafaella Souza, sob orientação do professor Dr. José Brandão Neto e co-orientação dos professores Dr. Ruskin Freitas e Dr. Paulo Zannin, desenvolveu a dissertação intitulada “O som nosso de cada dia: análise do comportamento da acústica urbana a partir de modificações na forma urbana”. Foi analisado, na pesquisa, o comportamento da acústica urbana de um mesmo espaço urbano a partir de modificações cronológicas em sua forma urbana, tendo como estudo de caso o loteamento 3º Jardim de Boa Viagem, em Recife/PE (SOUZA, 2010).

Danilo Souza, orientado pela Profa. Dra. Maria Lucia Carvalho, desenvolveu, em 2012, a dissertação “Mapeamento sonoro do ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, Salvador-BA” (Universidade Federal da Bahia), no qual foi realizado o mapeamento sonoro do ruído de tráfego veicular no *software* SoundPLAN® (SOUZA, 2012).

Em 2012, a aluna de mestrado, Marina Cortês, com orientação da Profa. Dra. Lygia Niemeyer, na Universidade do Rio de Janeiro, realizou o mapeamento sonoro do bairro de Petrópolis (Natal/RN) no *software* SoundPLAN®, na dissertação “Morfologia e qualidade acústica do ambiente construído: Estudo de caso em Petrópolis” (CORTÊS, 2013).

Em 2013, foi realizada a dissertação “Relação entre índices urbanísticos da forma urbana e ruído ambiental”, por André Mendonça, orientado pela Dra. Léa Souza na Universidade de São Carlos (USP) (MENDONÇA, 2013).

Em 2014, Marcos Oliveira Filho. Orientado pelo Prof. Dr. Paulo Zannin, desenvolveu a dissertação: “Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba – PR” que trata do ruído em fachadas (OLIVEIRA FILHO, 2014).

Na Universidade de São Paulo, foi elaborada, em 2014, a tese de doutorado intitulada “Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde humana”, por Karina Vianna, sob orientação dos professores Maria Cardoso e Paulo Zannin, no qual foi realizado o mapeamento sonoro de áreas estratégicas em São Paulo/ SP e aplicado questionários à população residente sobre a poluição sonora, resultante das emissões das principais fontes sonoras (VIANNA, 2014).

O gestor ambiental Bento Coelho, em conjunto com a Prefeitura de Fortaleza/CE, desenvolveu o mapeamento sonoro de toda a cidade, seguindo as normativas da Diretiva Europeia. O SoundPLAN® utilizado é o CADNAA para a criação de um modelo acústico 3-D por meio da construção de um conjunto de bases de dados referentes à topografia, ao edificado e às fontes emissoras de ruído. A Carta Acústica de Fortaleza pretende ser um instrumento para redução da poluição sonora e melhoria da qualidade do ambiente sonoro

no Município como ferramenta de desenvolvimento sustentável (FORTALEZA, 2016).

Em 2017, Tamáris Brasileiro, com orientação da Profa. Dra. Bianca Araújo, realizou a dissertação intitulada “Mapeamento sonoro: estudo do ruído urbano do bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB”. A pesquisa desenvolveu, no *Software SoundPLAN®*, o mapeamento do ruído de tráfego de um bairro urbano próximo a uma rodovia de alto fluxo de veículos e indicou diretrizes acústicas de planejamento urbano para atenuação dos níveis sonoros em excesso (BRASILEIRO, 2017).

Dentro desse contexto, é notório o crescimento nos mapeamentos acústicos como ferramenta de controle ao combate do ruído. Com isso, essa pesquisa busca criar o estudo inédito de todo o município de Natal/RN, por meio do mapa sonoro, já que existe na cidade estudo em apenas parte dos bairros de Lagoa Nova (PINTO, 2013) e Petrópolis (CORTÊS, 2013). Além disso, irá contribuir para o melhor entendimento e delimitação das áreas mais ruidosas, assim como estudar melhorias para o controle da Poluição Sonora e a exposição desse ruído a população no município de Natal/RN.

1.3.3 Legislações e aspectos normativos

Para a minimização da poluição sonora, é fundamental o controle dos níveis de pressão sonora, com o objetivo de verificar a situação do ambiente em questão.

Com o intuito de combater os níveis de pressão sonora excessivos de poluição sonora, são estabelecidas leis e normas regulamentadoras que visam melhorar a qualidade de vida da população. Dessa forma, este item visa discutir as legislações internacionais, nacionais e estaduais aplicadas à poluição sonora.

1.3.3.1 Normas internacionais

O ruído incomoda as pessoas individualmente. No entanto, é possível caracterizar os efeitos do ruído num agregado de pessoas em comunidades

sujeitas a vários tipos de ruído ambiental. Os critérios adotados levaram em consideração as perturbações sonoras (como a do sono) e as interferências na comunicação oral (BISTAFA, 2011).

O tráfego rodoviário, como mencionado anteriormente, é a mais generalizada fonte de ruído em todos os continentes e a mais prevalente causa de incômodo. Portanto, a redução do ruído de tráfego tem grandes prioridades. Os limites de ruído, em alguns países, variam ao longo do dia e conforme as normas de cada localização. Segundo BRÜEL & KJÆR (2000), com base nos dados coletados de alguns países (Tabela 03), os Estados Unidos possuem os níveis mais restritivos; já a norma francesa é a menos restritiva. Vale ressaltar que tais valores são aceitáveis e decorrentes de fatores socioculturais.

Tabela 3 – Limites dos níveis de pressão sonora de tráfego Internacional.

LIMITES DE RUÍDO DE TRÁFEGO			
PAÍS	ÍNDICE	LIMITE DIURNO	LIMITE NOTURNO
Austrália	$L_{10, 18h}$	60	55
Austria	L_{Aeq}	50 - 55	40 – 45
França	L_{Aeq}	60 - 65	55 – 57
Alemanha	L_r	50 - 55	40 – 45
Espanha	L_{Aeq}	60	50
Suíça	L_r	55	45
Estados Unidos	L_{Aeq}	55	42

Fonte: BRÜEL & KJÆR, 2000, editado e traduzido pela autora, 2016.

Normas internacionais são importantes na avaliação do ruído ambiental porque são usadas para prover normas nacionais. Existem dois principais grupos que regem as normas internacionais, são eles: *The International Organization for Standardization* (ISO) que trata da metodologia cujos procedimentos adotados permitem uma comparação dos resultados; e o *International Electrotechnical Commission* (IEC) que trata da compatibilidade do instrumento com a maior precisão de dados.

Murphy e King (2011) identificaram áreas-chave de importância para a avaliação e gestão do ruído ambiente, nos termos da legislação da diretiva Europeia. São elas: (1) mapas estratégicos de ruído; (2) estimativa de exposição da população; (3) plano de ações de combate ao ruído.

Neste contexto, a diretiva exige que as autoridades competentes em cada Estado membro forneçam estimativas do número de pessoas que vivem em habitações expostas aos valores dos recém-indicadores de ruído estabelecidos da UE. Os níveis de pressão sonora são dados por: L_{den} (ruído de dia-entardecer-noite) e L_{night} (ruído noturno) na fachada do edifício mais exposto e, separadamente, para transporte rodoviário, ferroviário, do tráfego aéreo e ao ruído industrial.

A terceira área-chave de preocupação é o de planejamento de ações de ruído. Na diretiva, os planos de ação referem-se aos planos destinados a gerir os problemas e efeitos do ruído, incluindo a redução do ruído, se necessário. É uma exigência que as autoridades competentes elaborem planos de ação para os grandes eixos rodoviários e ferroviários e aglomerações, dentro de sua competência.

1.3.3.2 Legislação e normativa Federal

Duas das atribuições do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA são a normatização e estabelecimento de padrões, que visam o meio ambiente equilibrado com restrições de níveis excessivos de ruídos (necessário à qualidade de vida saudável). Dentre as resoluções estabelecidas pelo CONAMA, destacam-se as seguintes resoluções relacionadas à Poluição Sonora: Resolução nº 001/90 (BRASIL, 1990a) estabelece os níveis de pressão sonora a partir de um nível-critério em diferentes horários e zonas de acordo com o estabelecido pela NBR 10151 (ABNT, 2000) – que trata da avaliação do nível de pressão sonora em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade; Resolução nº 002/90 (BRASIL, 1990b) dispõe sobre a instituição do Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora (Programa “Silêncio”); Quanto ao ruído de tráfego, a Resolução nº 272º/2000 do CONAMA (2000) define limites máximos de emissão de ruídos por veículos automotores.

O Novo Código Civil (BRASIL, 2002), ao tratar do uso anormal da propriedade, em seu artigo 1.277, adverte: “O proprietário ou o possuidor de

um prédio tem o direito de fazer cessar as interferências prejudiciais à segurança, ao sossego e à saúde dos que habitam”.

Segundo Waldir Carneiro (2004), “sossego” concerne ao descanso, ao repouso e à tranquilidade que o homem necessita para repor suas energias e bem desempenhar suas atividades. Já “saúde” diz respeito ao estado da pessoa cujas funções físicas estão normais. Ao conjunto das condições favoráveis à saúde dá-se o nome de salubridade. Vale lembrar ainda segundo o mesmo autor: [...] “[...] a poluição sonora ainda subsiste como “crime”, a teor do disposto no art. 54 da Lei 9.605/98 – Lei dos Crimes Ambientais” (CARNEIRO, 2004).

A norma federal NBR 10151(ABNT, 2000) possui método de avaliação do ruído no qual baseia-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido (L_c) e o nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos, estabelecido conforme esta norma (ABNT, 2000). Ou seja, a referida norma fixa valores para a avaliação da aceitabilidade do ruído na comunidade.

Vale ressaltar que, segundo a referida Norma, o nível de pressão corrigido L_c para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente, L_{Aeq} . Já o nível critério de avaliação NCA (Tabela 04) é um método nos quais o nível de pressão sonora do ambiente pode ser comparado a conjuntos dos níveis por frequência de banda de oitava (GERGES, 2000).

Tabela 4 — Nível critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB.

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Áreas mistas, predominantemente residencial	55	50
Áreas mistas, com vocação comercial e administrativa	60	55
Áreas mistas, com vocação recreacional	65	55
Áreas predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT, 2000.

Vale ressaltar que a NBR 10151 (ABNT, 2000) ainda estabelece que:

- Se o ruído ambiente for superior ao valor da tabela, o NCA assume o valor do ruído ambiente. Assim, deverá ser considerado o ruído ambiente como o ruído de fundo existente, mesmo que este ultrapasse os valores de ruído ambiente recomendado.
- No exterior das edificações que contêm a fonte, as medições devem ser efetuadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e, pelo menos, dois metros do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes, etc. Na impossibilidade de atender alguma destas recomendações, a descrição da situação medida deve constar no relatório.
- O nível corrigido L_c para ruído com componentes tonais é determinado pelo L_{Aeq} acrescido de 5 dB.
- Os limites de horário para o período diurno e noturno podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar depois das 22h e não deve terminar antes das 7h do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado, o término do período noturno não deve ser antes das 9h.

Vale destacar também que para essas medições, na referida norma técnica aplicam-se as seguintes definições:

- Nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em decibels ponderados em “A” [dB] – nível obtido a partir do valor médio quadrático de pressão sonora (com ponderação A) referente a todo o intervalo de medição.
- Ruído com caráter impulsivo – contém impulsos, que são picos de energia acústica com duração menor do que 1s e se repetem a intervalos maiores do que 1s (por exemplo, martelagens, bate-estacas, tiros e explosões);
- Ruído com componentes tonais – contém tons puros, como o som de apitos ou zumbidos;

- Nível de ruído ambiente (L_{ra}) – Nível de pressão equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte em questão.

Como resultado final da avaliação dos ruídos, deve ser adotado o nível de pressão sonora corrigida (L_c).

A NBR 10151 (ABNT, 2000) encontra-se em processo de revisão, na qual se estudam algumas modificações. Em termos quantitativos, percebe-se que no projeto de lei em elaboração houve algumas modificações nos limites de nível de pressão sonora considerados aceitáveis (Tabela 05), possuindo os mesmos procedimentos metodológicos.

Tabela 5 — Limites de níveis de pressão sonora aceitáveis em função da finalidade de uso e ocupação do solo.

Tipos de áreas	Diurno (dB)	Noturno (dB)
Áreas rurais	45	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	40
Áreas mistas, predominantemente residenciais	55	45
Áreas mistas, com vocação comercial e/ou administrativa	60	50
Áreas mistas com predominância ou vocação recreacional	65	55
Áreas predominantemente industriais	70	60

Fonte: ABNT, 2000.

1.3.3.3 Legislações do estado do Rio Grande do Norte

O artigo 30 da Constituição Federal do Brasil incumbe ao município promover, no que couber, o adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano (BRASIL, 1988). Como as diretrizes da Resolução nº 001/90 do CONAMA são normas gerais, os estados e os municípios podem suplementar esses valores para níveis de ruído mais restritivos, isto é, fixar limites menores de níveis de pressão sonora (BRASIL, 1990a):

Quanto ao município, embora não tenha recebido competência legislativa concorrente expressa para editar normas sobre o assunto, foi lhe dada competência para legislar sobre a matéria

[...]. Nessa esteira a União fixa normas gerais (resolução 1, do art. 24 da Constituição Federal-CF), enquanto os Estados têm competência suplementar (resolução 2 do art. 24 da CF), sem perder de vista a prevalência da norma mais restritiva (CARNEIRO, 2004, p. 7).

No Rio Grande do Norte, a Lei Estadual nº. 6621/1994 (RIO GRANDE DO NORTE, 1994). dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no estado Tal lei foi alterada pela de nº 8052/2002 (RIO GRANDE DO NORTE, 2002), mas as modificações ocorreram em apenas alguns artigos, permanecendo, dessa forma, o estabelecido na lei anterior com os artigos não alterados.

Nesta lei, são fixados valores de limites de ruído, já que os órgãos públicos federais, estaduais e municipais e as associações comunitárias, poderão colaborar no controle da poluição sonora, denunciando a emissão de sons e ruídos acima dos níveis fixados nesta lei, conforme Tabela 06 (Lei 8052/2002).

Tabela 6 — Níveis de pressão sonora por tipologia, segundo a lei estadual do Rio Grande do Norte.

Área	Diurno	Noturno
Residencial (ZR)	55dB	45dB
Diversificada (ZD)	65dB	55dB
Industrial (ZI)	70dB	60dB

Fonte: Rio Grande do Norte, 2002.

Na Lei 8.052 (RIO GRANDE DO NORTE, 2002) também é fixado o limite máximo de exposição, com o nível de pressão sonora máximo de salubridade, exposto no art. 6º: “consideram-se à saúde, à segurança ou ao sossego público quaisquer ruídos que atinjam, no exterior ao recinto que tem origem, nível de pressão sonora superior a 85 (oitenta e cinco) decibels”, sendo tais níveis correspondentes aos níveis de insalubridade pela NR-15 (BRASIL, 1990c). Essa lei também especifica os tipos de ruídos proibidos como, por exemplo, os produzidos por veículos com equipamento de descarga aberta ou silenciador

adulterado ou defeituoso; e também alguns permitidos, como os de sinos de igrejas ou templos.

Para as medições *in loco*, o artigo sétimo define o método que deve ser adotado a partir de um medidor de pressão sonora conectado à resposta lenta. Ainda no art. 8º, define que o microfone deve ser afastado, no mínimo 1,50m da divisa do imóvel que contém a fonte de som e do ruído e a altura de 1,20m do solo. O microfone do aparelho deverá se encontrar sempre afastado, no mínimo, de 1,20m de quaisquer obstáculos, bem como guarnecidos com tela de vento. Sobre a curva de ponderação, a legislação estadual em vigor define, em seu artigo nono: “todos os níveis de som serão referidos à curva de ponderação C dos aparelhos ‘medidores de intensidade de som’” (RIO GRANDE DO NORTE, 2002).

Por mais que a lei em vigor considere a curva de ponderação C, como a que deve ser usada, esta lei vai de encontro à curva de ponderação recomendada segundo Sylvio Bistafa (2011, p.78):

O filtro ponderado A aproxima a resposta do sistema auditivo pra sons com níveis sonoros “moderados”, que normalmente se verificam nas atividades do cotidiano da vida moderna, sendo o mais comumente recomendado para medições de ruído, por apresentar uma série de vantagens, tais como: fornece valores que são bem correlacionados com a perda de audição por ruído; é facilmente implementado nos medidores de nível sonoro; fornece como resultado um número único; e é indicado para a maioria das normas e legislações relativas ao ruído.

Verifica-se, assim, que a lei 8.052/2002 precisa ser revisada, além de estabele critérios confusos, e ser menos restritiva do que normativa nacional NBR 10151 (ABNT, 2000).

A partir do referencial teórico exposto sobre aspectos do ruído ambiental e controle do ruído, o próximo capítulo trata das características urbanas do município do Natal o qual constituiu o universo de estudo.

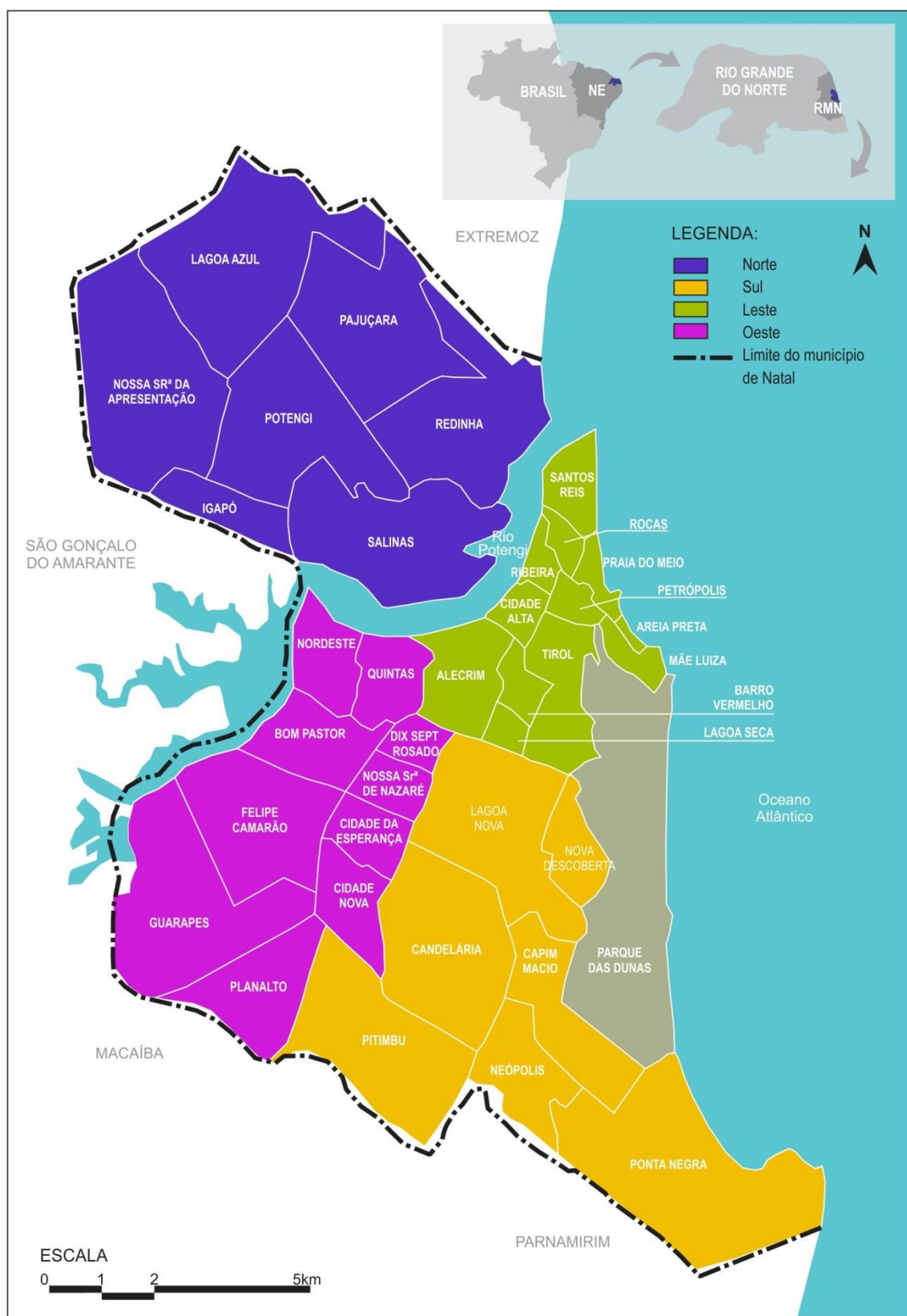
2. CONDICIONANTES FISICO-AMBIENTAIS QUE INTERFEREM NA ACÚSTICA AMBIENTAL

O município de Natal, capital do Rio Grande do Norte, localizado no litoral oriental do estado, em baixa latitude, possui características climáticas bastante definidas e constantes: clima quente-úmido, com alta umidade relativa do ar, intensa radiação solar e amplitude térmica pequena, tanto diária quanto sazonal (ARAÚJO, 2004). O município possui quatro regiões administrativas: Norte, Sul, Leste e Oeste (Figura 5) sendo limitada ao Norte pelo município de Extremoz, ao Sul pelo município de Parnamirim e Macaíba, ao Leste pelo Oceano Atlântico e ao Oeste pelo município de São Gonçalo do Amarante.

O município possui população que já ultrapassa 850 mil habitantes, apresenta 168,53km² de área e 25 km de costa marítima. As margens do Rio Potengi e Jundiaí se destacam também pelos ecossistemas que abrigam, pela importância econômica para comunidades nativas e a localização do porto, e pela relevância histórica como local de surgimento da cidade (SEMURB, 2016).

Nos últimos anos, Natal tem passado por um acelerado crescimento urbano, principalmente em direção a Região Administrativa Sul e Norte, uma vez que os elementos naturais (Parque das Dunas, Rio Potengi e Oceano Atlântico) dificultaram outra forma de expansão (MACEDO, 2005). Na década de 1970, a desconcentração industrial associada à criação de interligação viária entre o eixo norte e sul impulsionou o crescimento próximo à infraestrutura construída. Interesses econômicos associados, principalmente, ao turismo implicaram em rápido e desordenado crescimento urbano nas décadas seguintes, concentrados, sobretudo, no eixo leste e sul, próximo à costa (CLEMENTINO; FERREIRA, 2015).

Figura 5 — Natal, suas regiões administrativas e bairros.



Fonte: NATAL (2016), editado pela autora.

As quatro regiões administrativas englobam seus 36 bairros, além do Parque das Dunas, conforme demonstra Figura 5 e Quadro 02.

Quadro 2 – Bairros por Região Administrativa.

REGIÃO ADMINISTRATIVA BAIRROS	
NORTE (07)	Lagoa Azul, Pajuçara, Potengi, N. Senhora da Apresentação, Redinha, Igapó e Salinas.
SUL (07)	Lagoa Nova, Nova Descoberta, Candelária, Capim Macio, Pitimbu, Neópolis e Ponta Negra.
LESTE (12)	Santos Reis, Rocas, Ribeira, Praia do Meio, Cidade Alta, Lagoa Seca, Petrópolis, Areia Preta, Mãe Luíza, Alecrim, Barro Vermelho e Tirol.
OESTE (10)	Quintas, Nordeste, Dix-Sept Rosado, Bom Pastor, N. Senhora de Nazaré, Felipe Camarão, Cidade da Esperança, Cidade Nova, Guarapes e Planalto.

Fonte: NATAL, 2007, editado pela autora.

Significativas mudanças têm sido observadas na paisagem da cidade nos últimos dez anos, tais como: a) intensa verticalização concentrada nas regiões administrativas Sul e Leste – reflexo do movimento de forte expansão imobiliária em áreas urbanas consolidadas; b) novas estruturas viárias, a exemplo da ponte Newton Navarro, inaugurada em 2007, e complexos viários, cujas obras de mobilidade, por não ter sido associada a melhorias no transporte público e infraestrutura de qualidade para diferentes formas de locomoção, privilegiaram o uso do automóvel; c) aumento do número de veículos circulando nas vias urbanas com intensificação do tráfego, resultado não apenas do aumento da população e do crescimento da cidade, mas do deficiente sistema de transporte público que limita as opções de meios de transporte dos moradores e usuários da cidade ao automóvel; d) crescente movimento pendular – no qual mais de 59 mil pessoas fazem diariamente o movimento de sair de municípios vizinhos para a capital Natal (CLEMENTINO; FERREIRA, 2015).

Segundo o Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN –, a frota de veículos que circular no município subiu de 179.451 unidades em 2005, para 279.499 em 2010 e para 382.724 em 2016 (DETRAN, 2017). Em estudos

realizados para o Plano Diretor de transportes metropolitanos (SANTANA; FERNANDES; SAKAMOTO, 2008), a previsão é que o tempo dentro do veículo aumente e a velocidade diminua, devido à falta de infraestrutura da mobilidade urbana que não suporta o crescimento da cidade.

Nesse contexto, com o intuito de modelar em 3D o espaço estudado com exatidão, foram elaborados mapas físicos do universo de estudo a partir de informações contidas no *Google street view*®, *Googleearth*® e visitas *in loco* na área. Foi utilizada a base cartográfica dos mapas fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo de Natal – SEMURB e editados no *corel*®. A seguir segue a caracterização e mapas organizados por:

- Padrões de ocupação: uso do solo e gabarito;
- Topografia e áreas verdes: topografia e áreas verdes;
- Sistema viário e de circulação: hierarquia viária, pavimentação, e semáforos e obras viárias.

Vale ressaltar que todos os mapas foram elaborados pela autora para a tese a partir das fontes acima, exceto o mapa de topografia no qual a SEMURB já havia o mapa das curvas topográficas em *autocad*® e o mapa de uso do solo que já o tinha em *arcgis*® e foi apenas editado para o padrão da tese.

2.1 PADRÕES DE OCUPAÇÃO

2.1.1 Uso do solo

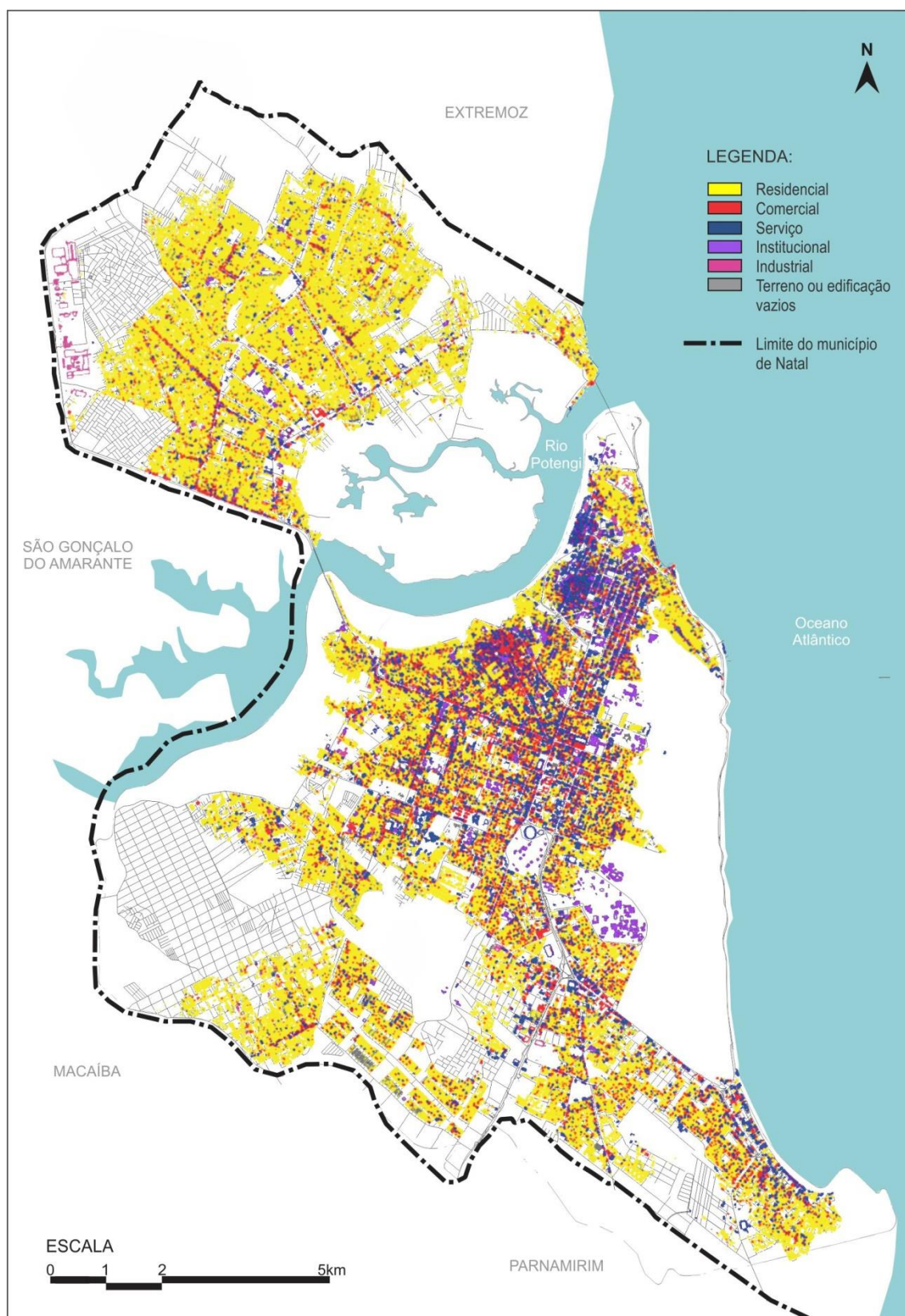
O Uso do Solo trata basicamente de tipos de funções dos usos das edificações; com densidades compatíveis, a fim de gerar uma área urbana com a maior vitalidade possível (DEL RIO, 1990). Conforme Philippe Panerai (2006), áreas comerciais despertam a cobiça dos investidores, atraem as grandes empresas e os empreendimentos comerciais. Ao seu lado subsistem subúrbios, loteamentos, indústrias, terrenos baldios, florestas ou zonas agrícolas.

O Plano Diretor de Natal sobre o uso e ocupação do solo (NATAL, 2007, art. 4, p.405) prevê que “serão submetidos à capacidade da infraestrutura urbana instalada, compatibilizando-a as condições do meio - ambiente, considerando-se áreas onde a ocupação pode ser intensificada e, outras, onde deve ser limitada”.

Planejar o uso do solo é necessário, pois uma cidade pensada de forma integrada procura salvaguardar as áreas residenciais das zonas ruidosas, além de aproveitar os atributos naturais, como topografia e áreas verdes, a fim de contribuir no controle do ruído.

Conforme o mapa de uso do solo produzido através do banco de dados do cadastro do IPTU no ano 2008 pela Secretaria Municipal de Tributação (SEMUT) e SEMURB (Figura 06), percebe-se que: A Região Administrativa Norte predomina a zona mista com predominância residencial; A Região Administrativa Sul possui predominância residencial e comercial presente nas faixas lindeiras da av. Roberto Freire, além de possuir a Universidade Federal do Rio Grande do Norte como área institucional e áreas de proteção ambiental como o Parque das Dunas; A Região Administrativa Leste possui diversificação de uso do solo, sendo ocupada por áreas institucionais, comerciais, serviços e residenciais; Por fim, a Região Administrativa oeste possui predominância de área residencial com a presença de áreas comerciais nas faixas lindeiras das avenidas Mor Gouveia e Bom Pastor.

Figura 6 — Mapa do Uso do solo do município de Natal/RN.



Fonte: da autora, 2017.

Nota: Banco de dados da SEMURB e SEMUT, 2008.

2.1.2 Gabarito

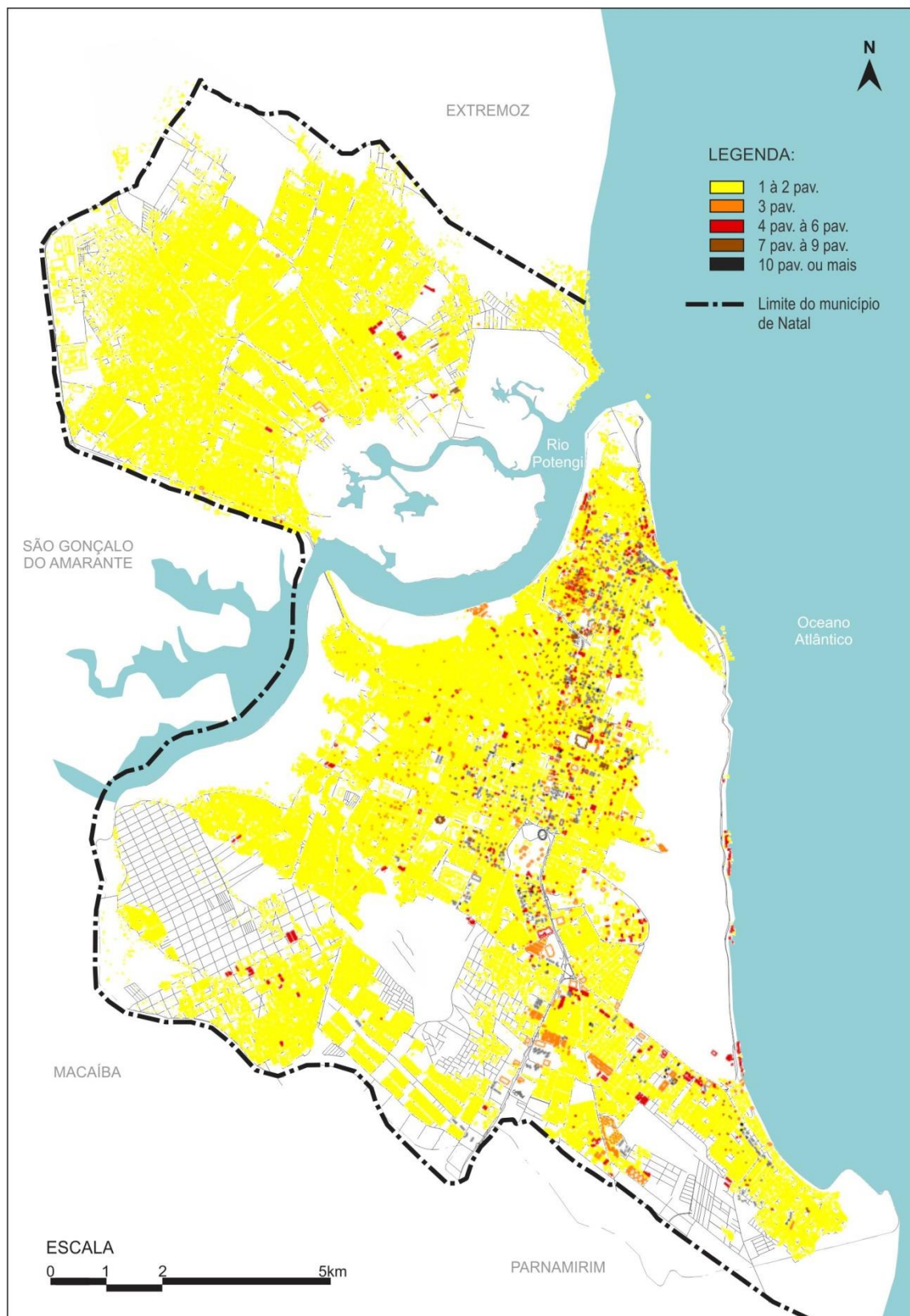
Conforme o Art. 6º do Plano Diretor vigente (NATAL, 2007), gabarito é a distância vertical medida entre o meio-fio e um plano horizontal tangente à parte superior do último elemento construído da edificação. No capítulo III, artigo 29, o gabarito máximo de altura permitido para toda a cidade é de 65m, exceto para as zonas adensáveis onde é permitido até 90m , e áreas de controle de gabarito, visam proteger o valor cênico paisagístico e assegurar as condições de bem estar, garantindo a qualidade de vida e equilíbrio climático da cidade (NATAL, 2007).

A implantação do edifício, aumento do fluxo veicular e natureza do tráfego de uma via podem ser bastante diferentes, dependendo das características geométricas do entorno. Uma via de circulação urbana margeada por edifícios em altura determina uma ambiência acústica significativamente diferente de uma estrada, implantada em tecido urbano pouco denso (NIEMEYER, 2007).

O nível sonoro varia em função das características geométricas do meio de propagação e dos coeficientes de absorção dos materiais das superfícies refletoras, pois a onda sonora encontra obstáculos e sofre múltiplas reflexões. Assim, o campo semi-reverberante é um espaço acústico fechado como, por exemplo, ruas do tipo cânion com edifícios limitando os dois lados da via de tráfego (CORTEZ, 2013). Bistafa (2011) sobre reverberação urbana destaca que desfiladeiros urbanos podem amplificar o ruído de tráfego, devido às múltiplas reflexões nas fachadas das edificações que margeiam as vias de tráfego. Estas restringem a divergência da onda sonora, causando reverberação urbana, o que amplifica os níveis sonoros.

O mapa de gabarito do município de Natal (Figura 07) foi elaborado considerando altura de seis metros para as edificações térreas e de dois pavimentos; edificações de três pavimentos com altura de nove metros +1,5m da empena, e assim por diante acréscimo de 3m a cada pavimento. Tal mapa foi elaborado a partir dos dados fornecidos pela SEMUT e SEMURB para o ano 2008, e atualizados pelo *google®* e visitas *in loco*.

Figura 7 — Mapa de gabarito do município de Natal/RN.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Nota: banco de dados do google®, visitas *in loco*, 2016; SEMURB e SEMUT, 2008.

2.2 TOPOGRAFIA E ÁREAS VERDES

2.2.1 Topografia

A topografia representa o estudo das características da superfície, que evidencia a descrição das curvas altimétricas de um terreno com a posição dos acidentes naturais ou artificiais presentes.

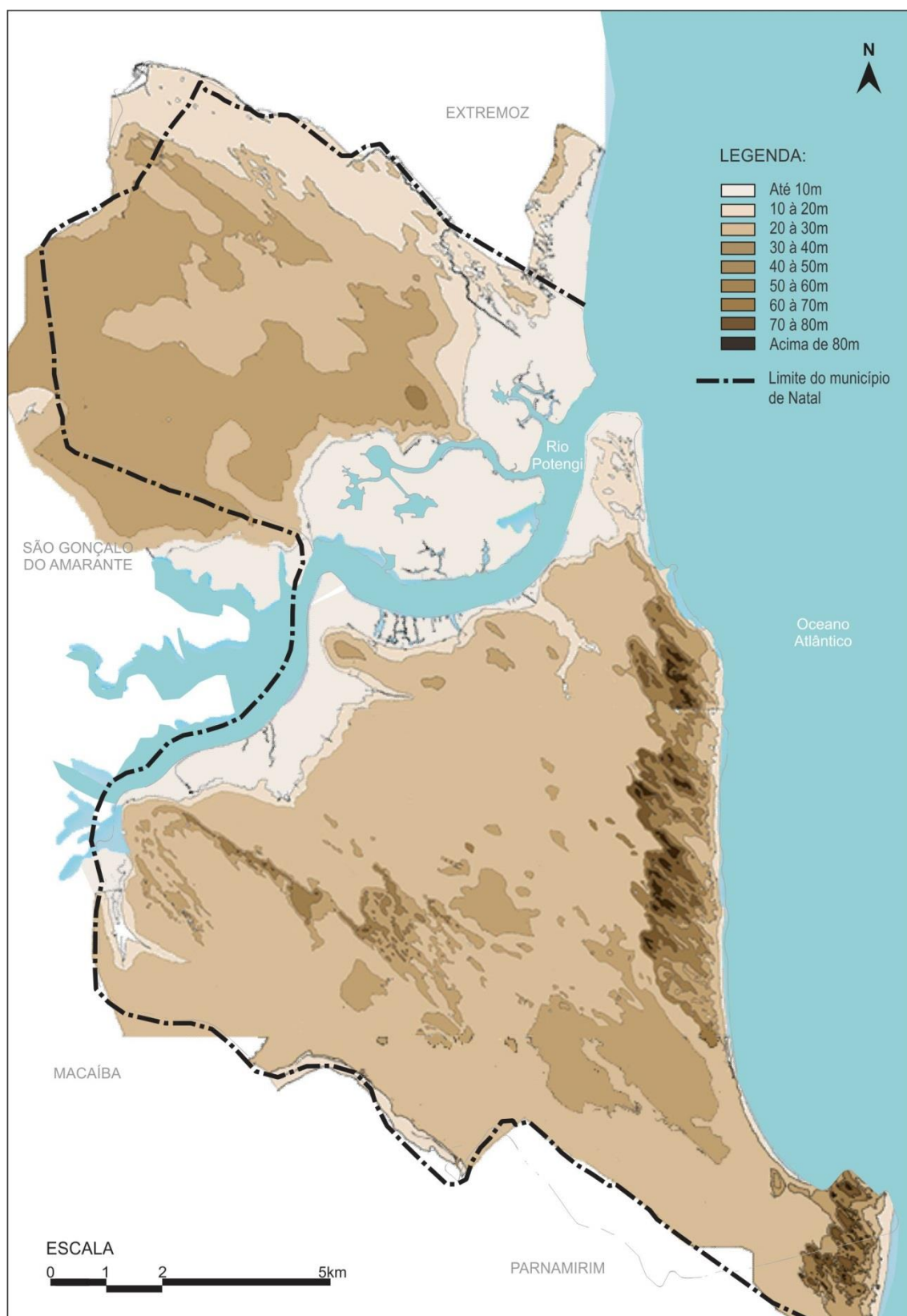
É a partir do território existente e da sua topografia que se desenha ou constrói a cidade, e começaria no <chão que se pisa> a identificar os elementos morfológicos do espaço urbano. É a topografia e modelação do terreno, mas também os revestimentos e pavimentos, os degraus e passeios empedrados [...] (LAMAS, 2004, p. 80).

Conforme Bistafa (2011, p.212), “uma barreira acústica é qualquer estrutura ou obstáculo que impede a visão da fonte ao receptor — inclusive o próprio solo quando este se eleva interferindo na linha de visão”. Além disso, a topografia influencia na velocidade e potência do motor veicular, já que para subir uma ladeira é necessário aumentar a potência do motor, aumentando a velocidade de giro, reduzindo a uma marcha mais curta, intensificando assim os níveis de pressão sonora (SANCHO; SENCHERMES, 1982).

A elaboração de mapas sonoros tem por base a realização de um modelo geométrico 3-D. Para que esse modelo seja gerado, é necessário introduzir, inicialmente, a altimetria da área objeto de estudo (Figura 08). Desta forma, buscou-se no site da SEMURB o mapa de topografia do município de Natal, contendo as curvas de nível mestra (representação da altimetria local a cada cinco metros). Optou-se por trabalhar com essas curvas altimétricas para exequibilidade da pesquisa, pois intervalos menores fornecem maior processamento de informações e, por conseguinte, maior tempo de simulação.

O arquivo com as curvas de nível foi importado em dxf no *Software SoundPLAN®* e, após atribuir as curvas de níveis em propriedade de *elevation line*, realizou-se o cálculo do *Digital Ground Model* (DGM) referente a união das curvas afim de gerar o plano de topografia. A topografia, em geral, apresenta variações compreendidas entre 0m (nível do mar) e 120m.

Figura 8 — Mapa da Topografia do município de Natal/RN.



Fonte: SEMURB, s.d, editado pela autora, 2017.

2.2.2 Áreas Verdes

Conforme Lamas (2004), as áreas verdes constituem elementos identificáveis no tecido urbano, já que caracterizam a imagem da cidade e desempenham funções de elementos de composição urbana e do desempenho urbano. O Art. 6º do Plano Diretor vigente (Natal, 2007), define o sistema de áreas verdes como conjunto dos espaços livres formados por parques, praças, jardins, arborização de ruas, unidades de conservação públicas e privadas existentes na cidade, entre outros.

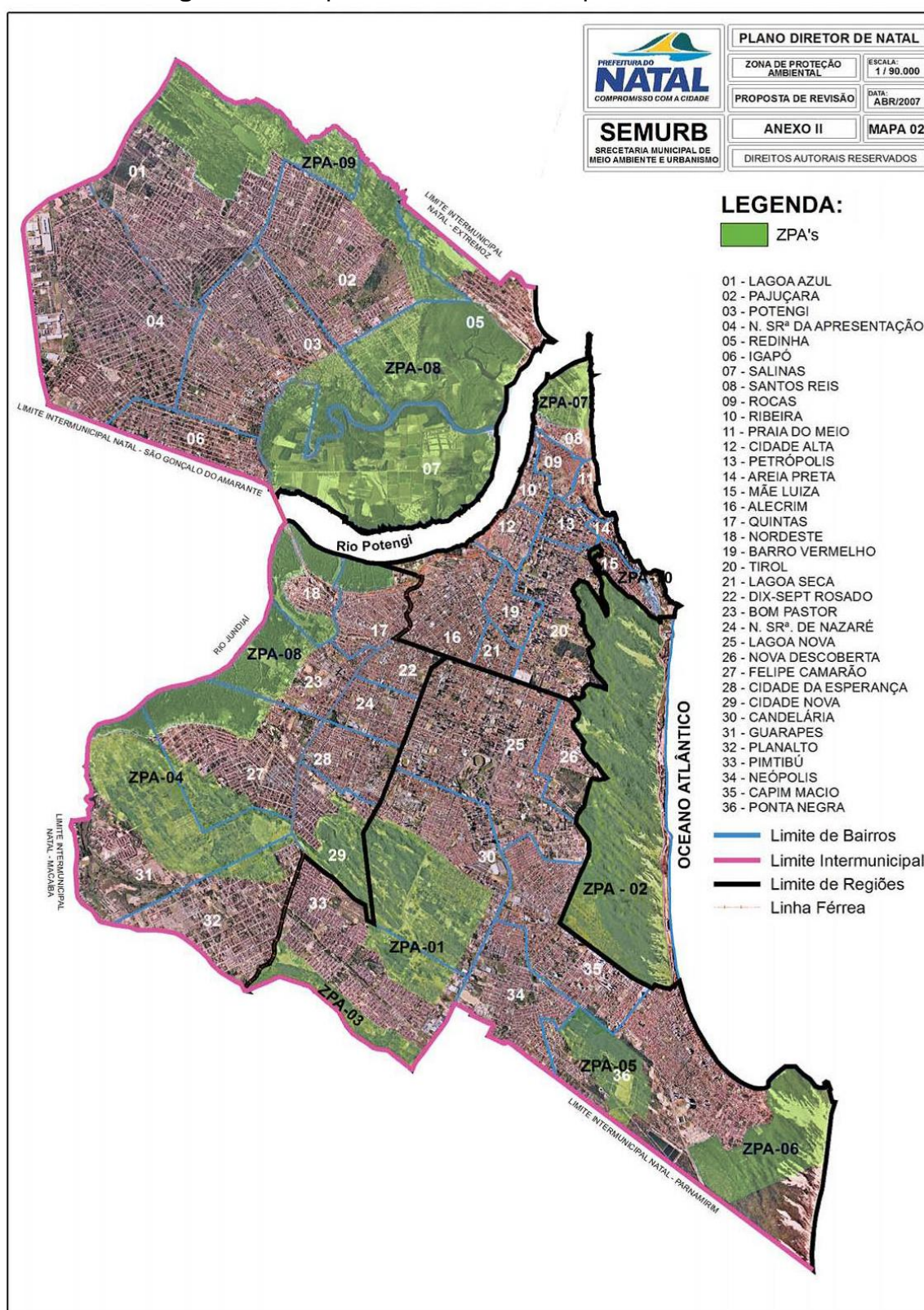
No processo de elaboração dos mapas de áreas verdes, foram identificadas áreas densamente arborizadas presente em praças, terrenos baldios e as Zonas de Proteção Ambientais (ZPAs). Essas ZPAs são áreas instituídas pelo Plano Diretor nos quais as características do meio ambiente restringem o uso e ocupação, visando a proteção, manutenção e recuperação dos aspectos ambientais, ecológicos, paisagísticos, históricos, arqueológicos, turísticos, culturais, arquitetônicos e científicos (Natal, 2007) (Figura 09).

Conforme Bistafa (2011), um maciço arbóreo de 30 metros de profundidade ocasiona atenuação de 5dB. Aplicando apenas na faixa de frequência de 200 a 2000 Hz, a profundidade de 15m resulta em atenuação na ordem de 7dB (KANG, 2007).

Para o presente estudo, pequenas áreas verdes, como é o caso de muitos canteiros de vias e vegetação nos fundos dos lotes, estão sendo suprimidos, pois não interferem significativamente na atenuação sonora.

Logo, a elaboração do mapa de áreas verdes (Figura 10), considerou-se densos maciços arbóreos, superiores a 15 metros de profundidade e largura. Tais maciços foram coletados através do google®, introduzidos no mapa do autocad®, no qual foi realizado as medidas dos maciços arbóreos. Percebe-se que há predominância de grandes áreas verdes nas ZPAs e menores áreas verdes distribuídas uniformemente na cidade.

Figura 9 – Mapa de ZPAs do município de Natal/RN.



Fonte: SEMURB, 2007.
Nota: Adaptado pela autora

Figura 10 — Mapa de áreas verdes do município de Natal/RN.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Nota: banco de dados do *google®*.

2.3 SISTEMA VIÁRIO E DE CIRCULAÇÃO

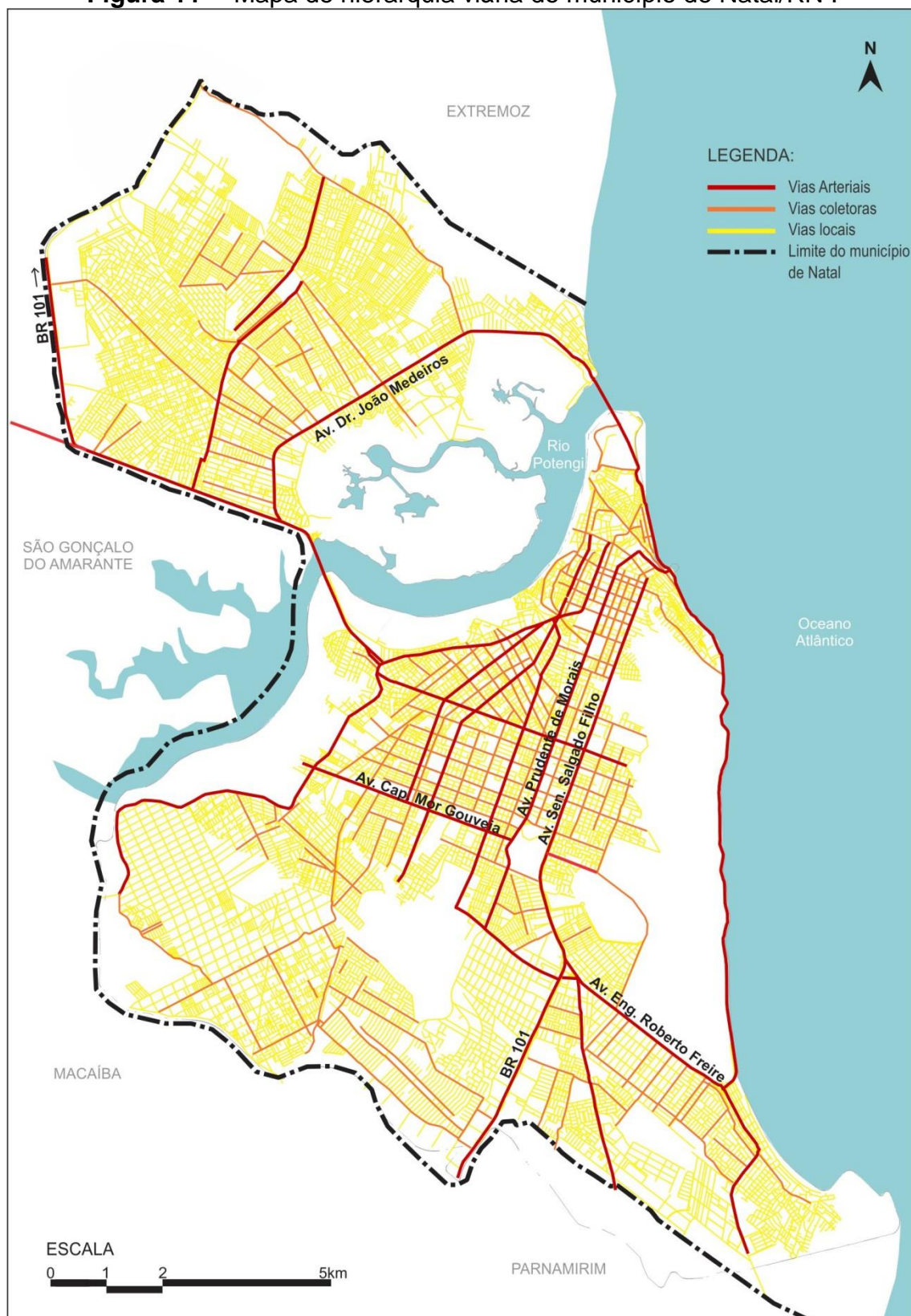
2.3.1 Hierarquia viária

No município do Natal, as vias organizam o território por grandes distâncias, não somente porque permitem percorrê-lo, mas porque estruturam suas partes. O tecido dos diferentes bairros orienta-se a partir delas, os equipamentos e as atividades estão vinculados a elas. Em uma visão seletiva que não se atém ao detalhe das partes, a rede de vias representa o mapa da cidade (PANERAI, 2006). Para LAMAS (2004, p. 100) “O traçado estabelece a relação mais direta de assentamento entre a cidade e o território. Na análise de M. Poète, a rua ou o traçado relaciona-se diretamente com a formação e crescimento da cidade de modo hierarquizado”. O Código de Obras (NATAL, 2004), em seu Anexo I, classifica o sistema viário do município em: 16 vias arteriais, 122 vias coletoras e demais sendo vias locais.

As vias arteriais suportam os maiores deslocamentos e têm a capacidade de comportar grandes volumes de tráfego, nos quais desempenham função de penetração e articulação, constituindo-se na principal estrutura da cidade e de seu entorno. As vias coletoras são destinadas a estabelecer ligações entre as vias locais para alimentar as arteriais, desempenhando função de distribuição e de apoio, com importância intermediária na malha. As vias locais são caracterizadas pelo baixo volume de circulação de veículos e desempenham a função de acesso direto aos lotes, em grande parte residenciais (COSTA, 2014).

Com base no mapa de hierarquia viária de Natal/RN (Figura 11), percebe-se que as vias arteriais possuem maiores comprimentos, formando uma malha que cruza toda a cidade, com maior predominância na região Administrativa Leste. As vias coletoras se conectam as vias arteriais e possuem um traçado interno entre elas. Já as vias locais estão distribuídas em toda a cidade dando suporte de acesso direto a grande parte dos lotes, conectando-se às coletoras e arteriais.

Figura 11 — Mapa de hierarquia viária do município de Natal/RN .



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Nota: informações do Código de Obras (Natal, 2004).

2.3.2 Pavimentação

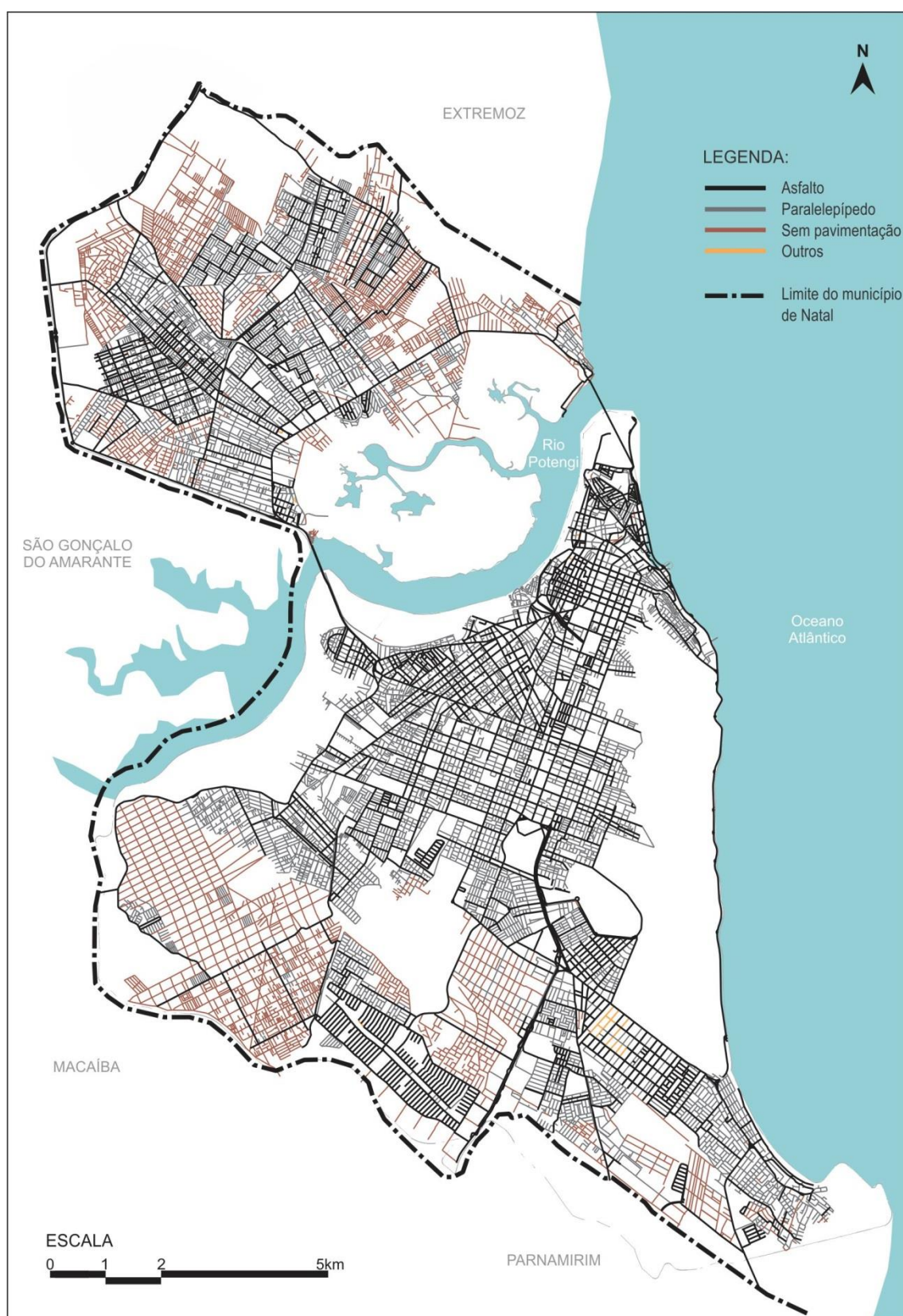
Conforme Cullen Gordon (1971, p.130), o pavimento “trata-se de um <folheado> em material resistente que cobre o elemento mais natural e forte da paisagem urbana: a modelação da superfície terrestre”, em que seu revestimento é distribuído em função do peso e resistência necessária. Conforme Bistafa (2011), a reflexão do solo gera um raio sonoro que interfere com o raio direto, resultando em atenuação ou amplificação do raio sonoro a depender do tipo de pavimentação, sendo:

Solos acusticamente “duros” (asfalto, terra batida, água, solo inundado, etc.) são observadas diversas regiões no espectro sonoro com interferência destrutivas e construtivas. O resultado é uma amplificação média de aproximadamente +3dB (BISTAFA, 2011, p. 210).

O *software* SoundPLAN® considera no cálculo o aumento do nível de pressão sonora de: asfalto não ocasiona (+0dB) aumento dos níveis de pressão sonora, o concreto ocasiona pequeno aumento (+1dB) devido sua baixa rugosidade, e por fim o paralelepípedo que gera aumento significativo (+2dB ou +3dB) devido sua maior rugosidade (BRAUNSTEI e BERNDT, 2008). Vale ressaltar, que no caso do asfalto, a má manutenção pode ocasionar aumentos de 8-10dB (CHILE, 2011).

O mapa de pavimentação da cidade do Natal/RN (Figura 12) foi realizado por meio de pesquisa *in loco*, com auxílio da ferramenta *Google maps*®, e *Street view*®. Ao analisar o mapa, verifica-se que as vias arteriais e coletoras são todas pavimentadas do tipo asfalto; as vias locais são predominantemente de pavimentação do tipo paralelepípedo e algumas em menor quantidade em asfalto. Nas áreas de expansão, a cidade possui vias ainda em terreno natural, e por fim algumas poucas vias em intertravado. Desse modo, com relação ao número de vias se totalizam 14% de vias tipo asfalto, 63% de vias tipo paralelepípedo, 22% de solo natural e 0,18% de outros tipos. Vale ressaltar que as vias arteriais em sua maioria possuem maior comprimento de vias; contrário a estas, as vias de solo natural possuem menores tamanhos de comprimento viário.

Figura 12 — Mapa de pavimentação do município de Natal/RN.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Nota: banco de dados do *google®*.

2.3.3 Semáforos, viadutos e túneis

Os semáforos são dispositivos utilizados com o objetivo de ordenar o tráfego. São posicionados em cruzamentos onde existe maior presença de fluxo viário ou de pedestres expostos à riscos. Ao utilizar o semáforo, a via deixa de ter fluxo contínuo para o fluxo interrompido, aumentando o tempo de viagem (DNIT, 2006) e consequentemente, aumentando o nível de pressão sonora. Para evitar o uso de semáforos são construídos os túneis e viadutos, que tornam os fluxos mais contínuos, minimizando possíveis congestionamentos. No entanto, é necessário um maior investimento de recursos para a criação de tais obras.

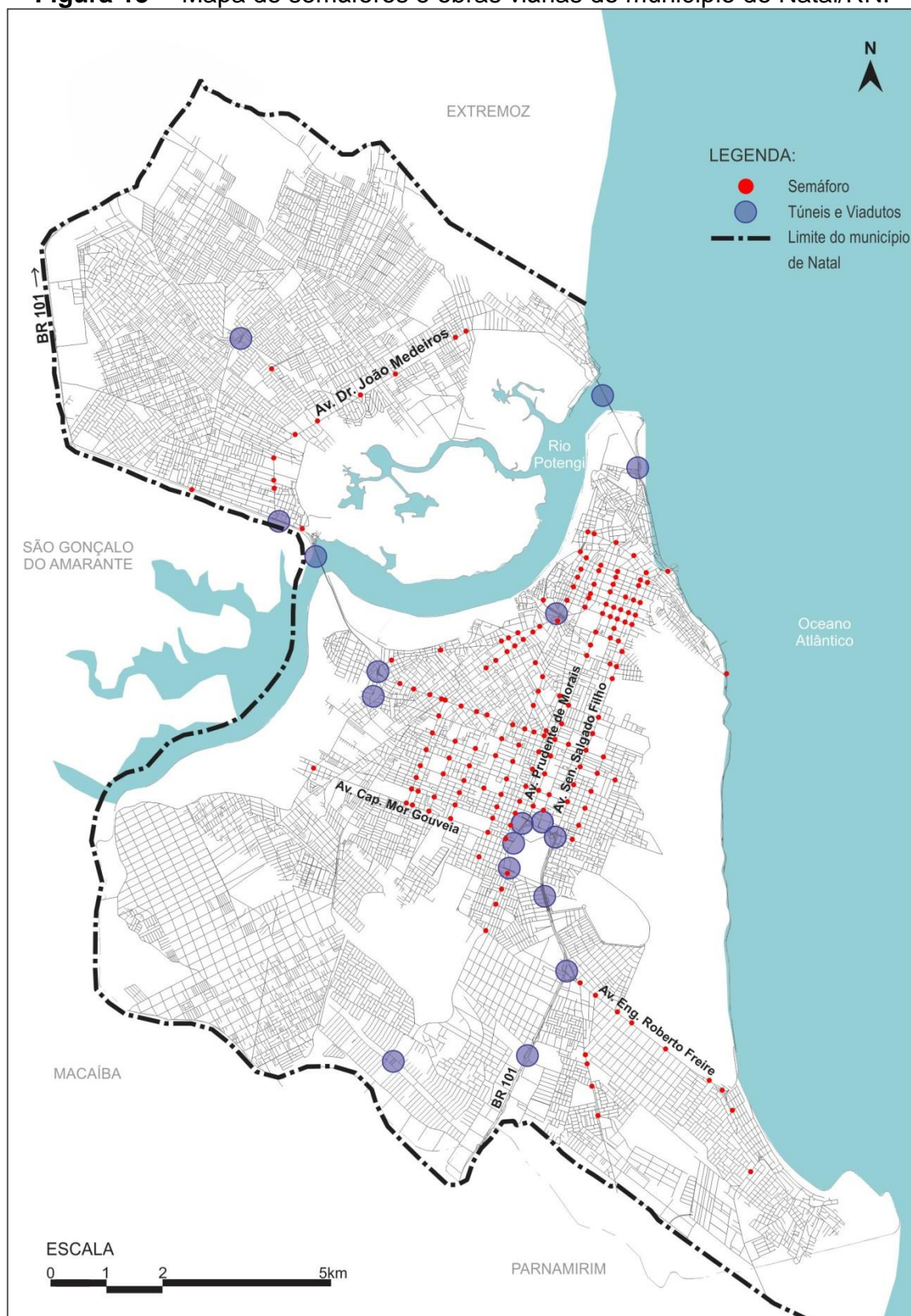
Com relação ao ruído gerado, o *software* SoundPLAN®, com base na norma RLS-90 (DER..., 1990), considera um incremento de 3 dB no nível sonoro para os pontos que se encontram a um raio de distância de 40 m do cruzamento semaforizado, de 2 dB para distâncias entre 40 e 70 m, e de 1 dB para distâncias entre 70 e 100m em relação ao cruzamento (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2008).

No entorno do estádio Arena das Dunas, localizado no bairro de Lagoa Nova, Natal/RN, Débora Pinto (2013) verificou que após as obras de mobilidade urbana, houve uma melhoria nos níveis de pressão sonora devido à implementação de túneis e viadutos, já que a concentração de semáforos significava interferência na redução da velocidade e no acúmulo de veículos em espera, o que ocasiona maior aceleração e frenagem, e consequentemente aumento dos níveis de pressão sonora.

O mapa de levantamento dos semáforos, túneis e viadutos foi elaborado para o município de Natal (Figura 13). Neste verifica-se a existência de 171 semáforos e 11 túneis e/ou viadutos. Vale ressaltar que os semáforos encontram-se localizados em sua maioria na porção leste, em especial nos cruzamentos das vias arteriais e coletoras, e os túneis e/ou viadutos na sua maioria na Região Administrativa sul.

Concluída a caracterização do universo de estudo, o capítulo a seguir trata dos procedimentos metodológicos.

Figura 13 — Mapa de semáforos e obras viárias do município de Natal/RN.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.
Nota: banco de dados de visitas *in loco* e google®.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, inicialmente foi realizado revisão bibliográfica. Em seguida realizou-se o levantamento dos mapas para os parâmetros urbanísticos, contemplando os mapas de hierarquia viária, topografia, áreas verdes, pavimentação, gabarito e localização de semáforos, túneis e viadutos.

Os procedimentos metodológicos iniciam-se com a descrição do *software* para geração de mapas sonoros. Em seguida, traça-se o planejamento experimental a partir dos métodos operacionais utilizados na pesquisa de campo.

As variáveis de estudo estão inclusas dentro de parâmetros físico-ambientais, acústicos e de tráfego, que foram coletados com os devidos instrumentos de medição. Em função da necessidade de dados primários e secundários, a variável de tráfego e acústica foi coletada por meio de:

- Registros de tráfego fornecidos pelos radares eletrônicos existente no município de Natal pela empresa SERTTEL (2016);
- Dados de tráfego e sonoros por pesquisas sobre o tema na área objeto de estudo no período 2012 a 2016 (PINTO, 2013; CORTÊS, 2013; PINTO, ARAÚJO, 2013; UNP, 2016; BRASILEIRO et al, 2017).
- Coleta de tráfego e sonoros complementar *in loco* em abril de 2016;

Todos esses registros de tráfego foram organizados em um banco de dados, que resultou em estudos estatísticos para a correção temporal entre o período coletado e o processamento do mapa sonoro (abril de 2016), com base no crescimento de tráfego anual nos radares eletrônicos.

Nos processamentos dos dados, foi abordada a atenuação sonora ao ar livre, assim como a calibragem do modelo e a aceleração do tempo de cálculo no *software*. No entanto, nem todas as vias da cidade estavam contempladas dentro deste banco de dados – fato que exigiu a realização de teste estatístico para estimar os dados dessas vias a partir do estudo de tipificação.

Em seguida, procedeu-se a análise e discussão dos resultados que abordam a análise quantitativa dos dados de níveis de pressão sonora e de tráfego, e o mapeamento sonoro e suas análises com base nos objetivos propostos a pesquisa. Por fim, seguem as considerações finais.

3.1 ELABORAÇÃO DE MAPAS SONOROS NO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Estão disponíveis no mercado, diversos programas computacionais aplicados a à análise do ruído urbano, dentre eles o SoundPLAN®. Este é um programa comercial desenvolvido pela empresa alemã *Braunstein + Berndt GmbH*, designado à análises ambientais, que possibilita gerar mapas sonoros, avaliações de impactos acústicos, comparações entre cenários ambientais e análise de poluentes atmosféricos (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2008).

Como se trata de um programa alemão, sua criação teve o intuito de atender as necessidades do cenário Europeu. Porém, Pinto (2013) destaca que, para aplicá-lo na cidade do Natal, existem algumas incertezas experimentais que podem provocar pequenas variações na precisão dos resultados. Por exemplo, alguns carros ainda não possuem as tecnologias de diminuição de ruído tais quais os existentes nos EUA e Europa, e consequentemente apresentam maiores níveis de pressão sonora emitidos pelos mesmos.

O *software* de simulação computacional é uma ferramenta para criação de modelos 3D, para importar e exportar dados, concordância com principais normas internacionais para ruído de estradas, ferrovias, indústria e aeronaves, como a norma alemã RLS-90 (DER..., 1990). Quanto ao procedimento de cálculo para o ruído de tráfego, o modelo calcula as potências sonoras dos veículos, podendo ser derivadas de dados de tráfego.

A RLS-90 (DER..., 1990) consiste numa norma alemã, que estabelece técnicas específicas, procedimentos de medição e redução de ruído de tráfego rodoviário e de estacionamentos. Esta utiliza o método da fonte pontual com

espalhamento, atenuação sonora, refração e reflexão, e seus procedimentos de cálculo apresentam dois modelos: da fonte e da propagação.

É crescente o número de universidades que possuem a licença do programa para auxiliar as pesquisas acadêmicas. No Brasil, segundo informações cedidas pela empresa fornecedora do *software* SoundPLAN®, atualmente onze universidades trabalham com esse programa: Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Católica de Brasília (UNB), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade de Brasília (UNB), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMG) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

3.1.1 Procedimentos para a simulação sonora computacional

Para esta pesquisa, utilizou-se o *software* SoundPLAN®, versão 7.1 do Laboratório de Conforto Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Para a avaliação da acústica urbana em programa de simulação sonora, de acordo com Marco Maia (2003) e Ítalo Guedes (2005), recomenda-se as seguintes etapas para construção do mapeamento sonoro:

a) Inicia-se com a seleção dos pontos de medição na área objeto de estudo e, nestes, realiza-se o registro, *in loco*, das medidas acústicas (Nível Sonoro Equivalente Contínuo, L_{Aeq}) e de tráfego (fluxo veicular, composição de veículos e velocidade média);

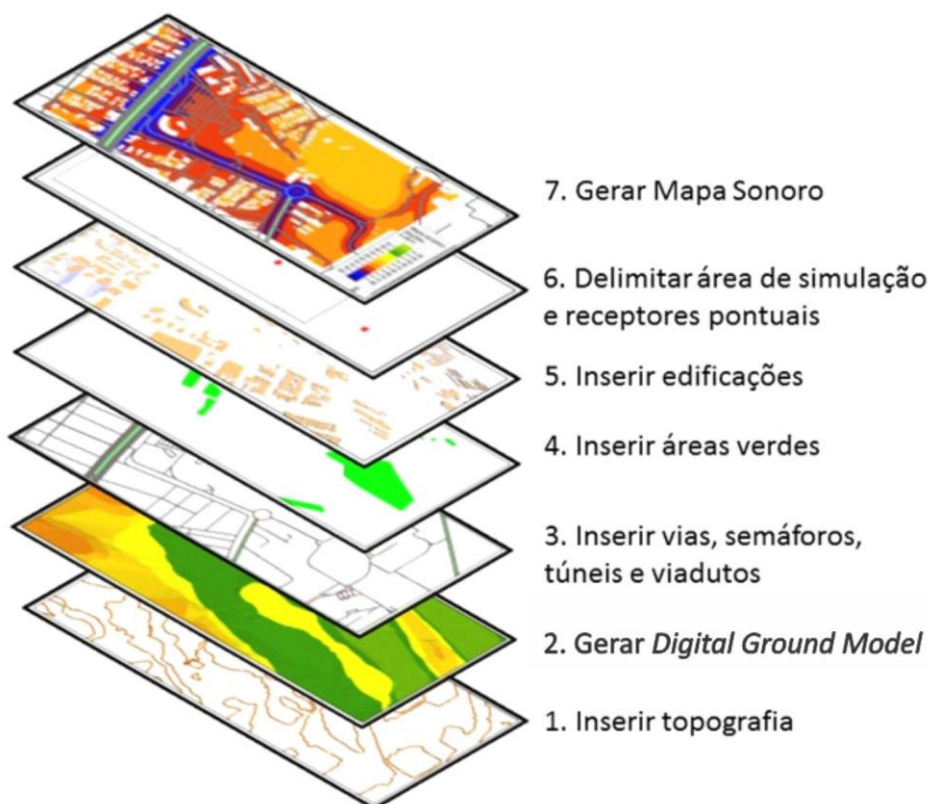
b) Para a simulação do cenário, isto é, a elaboração da modelagem geométrica da área, realiza-se o levantamento dos parâmetros físico-ambientais (alturas das edificações - gabaritos, demarcação das áreas verdes densas, larguras de ruas e avenidas, passeios, canteiros centrais, dentre outros);

c) Comparam-se os níveis sonoros encontrados na área com os parâmetros estabelecidos pelas normas referentes ao conforto acústico para espaços externos;

d) Por fim, realiza-se a análise dos resultados para identificar os pontos críticos e sensíveis na área objeto de estudo e propor diretrizes para o combate e minimização dos níveis sonoros em excesso.

Além das etapas citadas pelos autores, nesta pesquisa verificou-se mais especificamente que os procedimentos utilizados para a elaboração do mapeamento sonoro necessitam de dados de entrada: o mapeamento físico da área, contagem volumétrica de veículos (leves e pesados), velocidades dos veículos, dimensionamento e tipo de pavimentação das vias, levantamento dos semáforos e áreas verdes (Figura 14). Assim, para a geração do mapa sonoro, é necessário seguir as etapas de inserção de dados dentro *Software*, observando os procedimentos expressos no Quadro 03:

Figura 14 — Esquema de inserção de dados no *Software* de simulação computacional



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Quadro 3 – Procedimentos de inserção de dados.

Etapa	Procedimentos metodológicos
1. Inserir topografia	Inicialmente, é introduzido, no programa, o arquivo referente às curvas de nível (a altimetria da área a ser mapeada). Deve-se selecionar as curvas e atribuir a propriedade “ <i>elevation line</i> ”.
2. Gerar <i>Digital Ground Model</i>	Para que o programa reconheça a topografia, é necessário calcular o modelo digital da elevação (DGM).
3. Inserir vias, semáforos, túneis e viadutos	Com a base planialtimétrica pronta, inicia-se a etapa da inserção dos parâmetros urbanísticos da área. As vias são representadas por uma linha de eixo central contínua (recebendo a propriedade de <i>road</i>). Para cada via, ou conjunto de vias semelhantes, são atribuídos as propriedades físicas e o comportamento do fluxo do tráfego (fluxo veicular, velocidade dos veículos, tipo de recobrimento do solo, largura, se possui canteiro central). Além das vias, são inseridos os semáforos, tuneis e viadutos. Inseridas essas propriedades, deve-se ajustar a altura com base no DGM, para que os elementos fiquem sobre a topografia.
4. Inserir áreas verdes	Nesse momento, insere-se as áreas com vegetação densa, considerando áreas com mais de 15 metros de largura. Ao inserir, atribui a propriedade de “ <i>attenuation area</i> ”. Nesse momento, é introduzido, no programa, a atenuação (em dB/m) e a altura efetiva.
5. Inserir edificações	Nesse momento são inseridas as edificações. Para otimizar o processo, aconselha-se que sejam criadas camadas distintas com o agrupamento de edificações com mesma altura. Atribui a essas edificações a propriedade de “ <i>building</i> ” e, posteriormente, insere as alturas das edificações. Ao concluir essa fase, deve-se ajustar a altura com base no DGM, para que as edificações fiquem sobre a topografia.
6. Delimitar área de simulação e receptores pontuais	O programa necessita a indicação de uma área de cálculo através de um polígono demarcando a área a ser mapeada. Após esse processo, deve-se atribuir ao polígono, a propriedade de “ <i>calculation area</i> ”. Para calibrar o modelo é necessário calcular o <i>Single Point Receivers Sound (SPS)</i> . Deve-se inserir, em cada ponto de medição, um receptor pontual, ajustando a altura para a mesma altura que o equipamento ficou posicionado no momento da medição, tomando como base o DGM. Compara-se os dados medidos com simulados a fim de calibrar o modelo. Realizar ajustes, se necessário.
7. Gerar mapas sonoros	Na aba de cálculo são fornecidas algumas possibilidades de cálculo, a exemplo do “ <i>Grid Noise Map</i> ” (refere-se aos mapas horizontais), e o “ <i>Cross Sectional Noise Map</i> ” (refere-se aos mapas verticais). Para que o cálculo seja feito, deve-se atribuir as seguintes propriedades, dentre elas: a malha de cálculo, o número de reflexões, o raio de abrangência da fonte sonora. Ao término do cálculo, o programa gera planilhas com os resultados e o pesquisador configura as propriedades do mapa.

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

3.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA GERAÇÃO DE MAPAS SONOROS

Como visto, o programa de simulação computacional necessita de vários dados de entrada para conseguir gerar os mapas sonoros, em especial as características urbanas, fluxo veicular e, para efeito de calibração do modelo, os dados acústicos. Portanto, são apresentados, a seguir, os parâmetros físico-ambientais, acústicos e de tráfego, e ainda os instrumentos de medição.

3.2.1 Parâmetros físico-ambientais

A morfologia urbana se referem aosas características do tecido urbano considerados para a análise⁶: gabarito das edificações, topografia, áreas verdes, hierarquia viária, pavimentação, localização de semáforos, túneis e viadutos. O Quadro 4 descreve as variáveis coletadas *in loco* e seus respectivos dados, métodos e categorias.

Além das variáveis urbanísticas, foram coletados a largura exata das vias e dos canteiros para o banco de dados coletado nos 193 pontos de medições através do mapa do município do Natal no *Autocad®*. Nesse momento, foi possível informar a largura das vias e (caso existente) a do canteiro. Tal dado foi coletado no mapa no *autocad* do município do Natal e inserido dentro do banco de dados.

⁶ O uso do solo não utilizou-se dentro do *software SoundPlan®* mas para as análises dos mapas sonoros

Quadro 4 – Parâmetros físico-ambientais.

Parâmetros físico ambientais	Dados coletados	Método	Categorias
Gabarito das edificações	Altura das edificações pertencentes ao universo de estudo	Pesquisa de campo, por meio de observações e anotações	Separado por cada número de pavimentos
Topografia	Mapa georeferenciado das curvas de nível do município de Natal	Pesquisa documental	Alta, média e baixa
Áreas verdes	Localização das áreas verdes pertencentes à área objeto de estudo	Pesquisa bibliográfica e de campo, por meio de observações	Densa e não densa
Hierarquia viária	Espacialização das tipologias viárias	Código de obras (NATAL, 2004)	vias arteriais, coletoras e locais
Pavimentação	Características da via quanto ao recobrimento do solo, categorizando em asfalto, paralelepípedo e solo natural	Pesquisa de campo, por meio de observações	Asfáltico, paralelepípedo solo natural outros
Semáforos, viadutos e túneis	Espacialização da localização dos semáforos, viadutos e túneis	Google®	Semáforos, viadutos e túneis

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

3.2.2 Parâmetros de tráfego e acústico

A coleta dos parâmetros de tráfego ocorreu simultaneamente à coleta dos parâmetros acústicos. Os parâmetros de tráfego correspondem aos dados da composição do tráfego por meio das medições de campo, através do fluxo viário, tipo de veículos e velocidade veicular. Os parâmetros acústicos referem-se às coletas dos dados sonoros. Os critérios adotados para a escolha dos dias, horários e duração das medições se relacionaram ao fluxo veicular, visto que o ruído de tráfego é a fonte objeto de estudo.

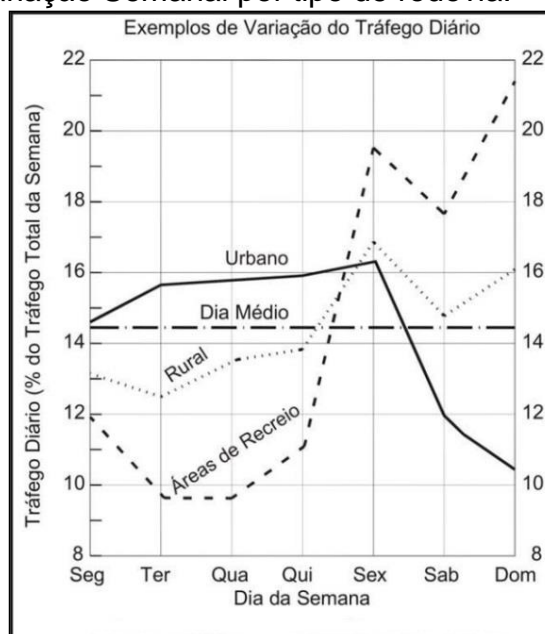
Quanto ao fluxo viário: Define-se fluxo veicular (ou *Volume de Tráfego*) o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma

determinada faixa, durante uma unidade de tempo. Para a simulação computacional foi utilizado o dado de contagem de veículo por hora. Vale ressaltar que o DNIT (2006) revela que:

As Contagens Volumétricas visam determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. Essas informações são usadas na análise de capacidade, na avaliação das causas de congestionamento e de elevados índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, nos projetos de canalização do tráfego e outras melhorias (DNIT, 2006, p.101).

Quanto aos dias de medição: O Plano Diretor de Transporte Metropolitano da Região Metropolitana do Natal/ RN — PDTM (SANTANA; FERNANDES; SAKAMOTO, 2008) mostra que existe variação do fluxo viário diário: os sábados e domingos têm menor fluxo veicular; as segundas e sextas-feiras não seguem padrão definido; e as terças, quartas e quintas-feiras são os dias típicos. Optando-se pelos períodos típicos, excluindo-se épocas de férias (dezembro, janeiro e julho) e feriados, sem interferências de chuvas e padrão normal de trânsito (Figura 15).

Figura 15 — Gráfico do fluxo de veículos nos dias de semana com variação Semanal por tipo de rodovia.



Fonte: DNIT, 2006.

Quanto aos horários e duração das medições: A norma para avaliação do nível do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – NBR 10151 (ABNT, 2000), determina horários com características distintas para o período diurno e noturno, e estabelece níveis de pressão sonora para cada um desses horários: diurno compreende das 7h às 22h; noturno das 22h às 7h.

Sobre o tempo de duração de medição, em geral, as medições são realizadas em intervalos de 5⁷, 10 ou 15 minutos. O menor tempo de medição tem a vantagem de agilizar a coleta dos dados e de ser menos desgastante – porém corre-se o risco de não gerar informações suficientes. Em contrapartida, uma medição longa, apesar de exaustiva, pode não ser necessária, além da possibilidade de gerar resultados iguais aos obtidos, em intervalos de tempo menores (NARDI, 2008).

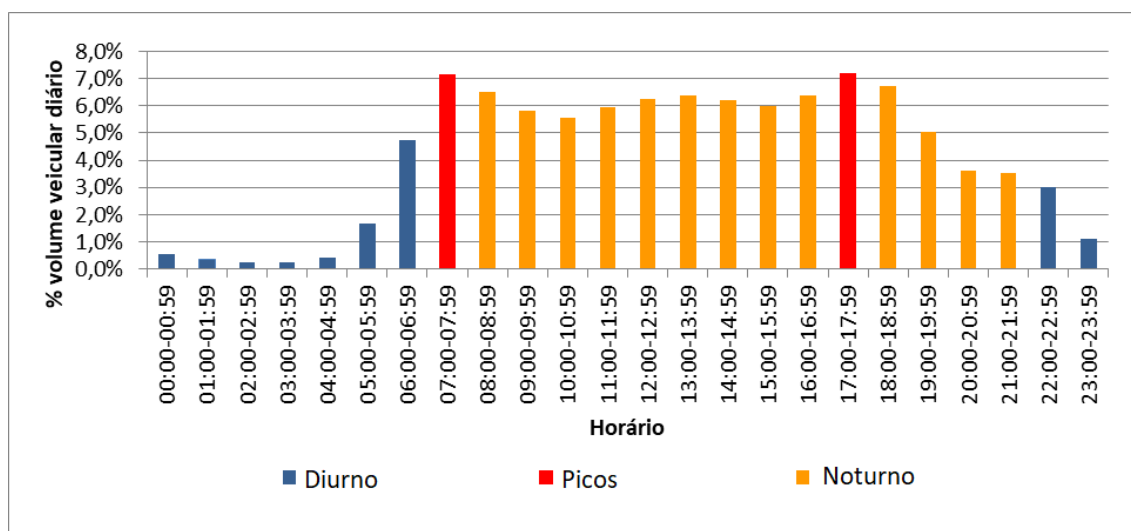
O medidor de nível de pressão sonora, segundo a NBR 10151 (ABNT, 2000) deve ser posicionado, quando possível, em direção aos ventos dominantes, para não criar barreira. Foi colocado a 1,2m do chão e a 2m das edificações ou muros. Nos canteiros, o aparelho foi posicionado no seu alinhamento para captar o nível de pressão sonora nos dois sentidos da via.

Para a pesquisa definiu-se a coleta de dados nos períodos de pico (7-8h e 17-18h). Para o mapa acústico o fluxo veicular utilizado no mapa sonoro determinou-se a partir do fluxo médio matutino e vespertino no horário das 7-22h, no qual para a NBR 10.151 (ABNT, 2000) e a Diretiva Europeia (UNIÃO EUROPÉIA, 2002), estes horários se enquadram no período diurno.

Com base nos dados horários dos 17 radares eletrônicos pela SERTTEL em parceria com a Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana (SEMOB), levantou-se os dados percentuais horário do fluxo veicular em cada ponto e da média percentual geral (Figura 16), no qual a maior ocorrência de horários de picos na cidade ocorre às 7-8h e as 17-18h, definindo-se tais horários de pico para a coleta de dados. Além do mais, a partir de análise estatística, verificou-se que a média possui 17.6% a menos do fluxo veicular nos horários de pico.

⁷ Adequado para fluxo veicular contínuo

Figura 16 – Gráfico do fluxo de veículos horário



Fonte: SERTTEL, 2016, elaborado pela autora, 2017.

Quanto ao tipo de veículo: Na coleta de dados de tráfego, foram feitas as contagens de veículos leves e pesados. A Norma Alemã RLS-90 (DER..., 1990) considera veículos pesados aqueles com peso acima de 2,80 toneladas, quer sejam micro-ônibus, ônibus e caminhão. Já as motocicletas, por mais que possuam peso leve, produzem ruído superior a automóveis e, por isso, na calibragem, podem ser consideradas como veículos pesados. Os veículos leves, por sua vez, são os automóveis e as caminhonetes (PINTO, 2013).

Quanto à velocidade veicular: Com relação à velocidade média, de acordo com o Código Brasileiro de Trânsito (BRASIL, 1997), as vias urbanas abertas à circulação podem ser classificadas de acordo com sua utilização, em vias de trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais.

Conforme o artigo 61 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), Capítulo III – das normas gerais de circulação e conduta, a velocidade máxima permitida para a via será indicada por meio de sinalização, obedecidas as suas características técnicas e as condições de trânsito. Além disso, nas vias urbanas no parágrafo § 1º onde não existir sinalização regulamentadora, a velocidade máxima será de: I - nas vias urbanas: 80 quilômetros por hora, nas vias de trânsito rápido; 60 quilômetros por hora, nas vias arteriais; 40 quilômetros por hora, nas vias coletoras; e 30 quilômetros por hora, nas vias

locais. Sendo os veículos pesado por volta de 20km/h a menos que os veículos leves (BRASIL, 1997).

3.2.3 Os Instrumentos de Medição

Os instrumentos para a coleta dos dados acústicos e de tráfego foram o medidor de níveis de pressão sonora e o contador manual, respectivamente.

Para a medição de dados acústicos foram utilizados dois medidores de níveis de pressão sonora:

- Medidor 1 (Figura 17A): do tipo 01dB SOLO SLM BLACK, classe 1, foi configurado para filtro de bandas de oitavas (1/3) em tempo real (12,5Hz-20kHz) por segundo. Medidor adquirido pela autora desta pesquisa. Em conformidade com a IEC 60804(2000), IEC 60651(2000), IEC 61672-1(2002), ANSI S1.4(2004) e IEC1260(2001);
- Medidor 2 (Figura 17B): do tipo *Instrutherm* 5010, classe 2, foi configurado também para registros do L_{Aeq} ao longo do tempo Medidor pertencente ao Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFRN. Atende as normas IEC 61672-1(2002); IEC-60651(2000); IEC804 e ANSI 51.4

Figura 17 — Foto dos medidores de nível de pressão sonora.



Fonte: fotos pela autora, 2017.

Ambos os medidores foram utilizados para as medições de pressão sonora. Os equipamentos estão aferidos dentro dos padrões requeridos para a medição em função do certificado de calibração e do tempo de sua aquisição. Possuem recursos de medição de nível de pressão sonora equivalentes (L_{Aeq}), 30-140 dB em um único *range*. Além dos registros ao longo do tempo e frequência, ambos equipamentos mediram: L05, L10, L50, L90, L95, Lmax, SEL e Leq.

Para a medição de tráfego foi utilizada a contagem de veículos por meio de anotações ou utilizou-se o contador manual Vonder (Figura 18) com capacidade máxima para 9999 unidades. Devido ao ruído produzido pelo equipamento no momento da contagem, o contador foi posicionado longe do medidor de nível de pressão sonora, quando as medições aconteceram simultaneamente.

Figura 18 — Fotos dos contadores manuais.



Fonte: acervo próprio, 2017.

3.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Para a coleta de dados primários foram levantados os registros dos radares eletrônicos presentes na cidade e coletados *in loco* em 2016. Também foram considerados dados secundários levantados por pesquisas anteriormente realizadas.

3.3.1 Registros dos radares eletrônicos

A empresa SERTTEL (SERTTEL, 2016) que presta serviços de tecnologia de mobilidade para a SEMOB disponibilizou os dados de contagem de fluxo veicular de **17 radares** (P01 ao P17) posicionados tanto em vias arteriais quanto coletoras (Figura 19).

LEGENDA:

- Pontos de medição (SERTTEL, 2016)
P01 ao P17
- Limite do município de Natal

ESCALA

0 1 2 5km

Os dados disponibilizados foram de todos os dias do mês de abril de 2016, medições horárias durante 24h. Foram selecionados os dias típicos da

semana (terça, quarta e quinta), excetuando-se feriados, durante os horários diurnos das 7-8h e 17-18h (horários de pico).

Tabela 7 – Dados e informações dos pontos de medição, P01 a P17.

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO		FLUXO HORÁRIO VESPERT.		CARACTERÍSTICAS				
		LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS	COMPRIMENTO	LARGURA (m)	LARGURA CANTEIRO	PAVIMENTO	HIERARQUIA
1	Ponte Newton Navarro, sent. redinha	573	191	1058	353	1785	18,0		asfalto	arterial
2	Tunel Romualdo Galvão, sent. A.Dunas	668	223	1497	499	2900	18,5	2,3	asfalto	coletora
3	av. felizardo moura. sentido centro	1310	437	1223	408	1790	16,1	1,3	asfalto	arterial
4	av. Felizardo Moura. sent. z norte	1310	437	1112	371	1790	16,1	1,3	asfalto	arterial
5	av. Prudente de Moraes, sentido centro	2846	949	1865	622	6935	23,0	5,0	asfalto	arterial
6	av. Jaguarari, sentido bairro	635	212	994	331	4355	14,0	1,0	asfalto	arterial
7	av. Jaguarari, sentido centro	1430	477	899	300	4355	14,0	1,0	asfalto	arterial
8	av. Bernardo Vieira, sentido zona norte	403	134	545	182	4520	24,0	5,0	asfalto	arterial
9	av. Bernardo Vieira, sentido p.dunas	946	315	797	266	4520	24,0	5,0	asfalto	arterial
10	Ponte Newton Navarro, sentido Forte	1532	511	629	210	1785	18,0		asfalto	arterial
11	av. Hermes da Fonseca, s. Petrópolis	4094	1365	3078	1026	2635	22,5	4,0	asfalto	arterial
12	av. Mário Negócio, sentido Zona Norte	1161	387	1794	598	2635	11,5		asfalto	arterial
13	av. Ayrton Senna, sent. N. parnamirim	939	313	2099	700	3536	21,0	2,0	asfalto	arterial
14	av. Prudente de Moraes, s. Petrópolis	1281	427	997	332	6935	21,6	5,1	asfalto	arterial
15	av. Prudente de Moraes, sent. L. Seca	1179	393	1094	365	6935	21,6	5,1	asfalto	arterial
16	av. Itapetinga, Potengi, sent. J.Md Filho	857	286	629	210	2184	23,0	8,5	asfalto	coletora
17	Av, itapetinga, sentido Lagoa Azul	150	50	300	100	2184	23,0	8,5	asfalto	coletora

Fonte: SERTTEL, 2016, editado pela autora, 2016.

Visto que, em alguns casos, dois radares (em sentidos opostos) registravam o fluxo veicular de uma mesma via, é necessário somar os dados dos dois radares, assim consideraram-se 11 vias medidas, sendo nove em vias arteriais e duas em vias coletoras.

3.3.2 Pontos de medição por pesquisas anteriormente realizadas

Com a finalidade de ter uma maior quantidade de dados de tráfego do município de Natal/RN, foram consideradas pesquisas anteriormente realizadas na cidade as quais possuem dados de tráfego em horário de pico. Verificou-se que os dados aptos para serem aproveitados nesta pesquisa seriam os pontos de medição de PINTO (2013); CORTÊS (2013); PINTO, ARAÚJO (2013); UNP (2016), e BRASILEIRO *et al* (2017) que serão descritos separadamente neste item.

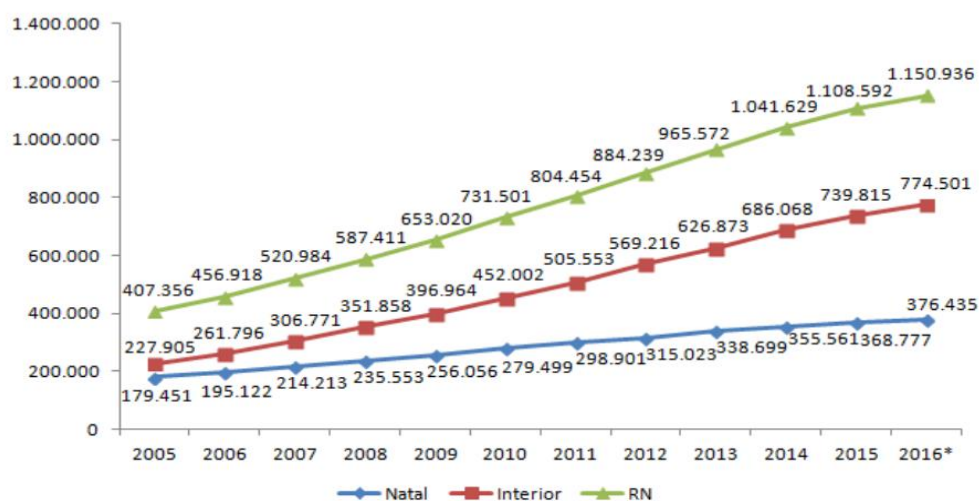
No entanto, para os dados coletados em anos anteriores, foi necessário um estudo estatístico com a finalidade de estimar os valores para o período (Abril de 2016 - data referência dos mapas acústicos) no qual se realizou as contagens *in loco* para o mapa sonoro. Dessa forma, a seguir foi realizado um estudo da variação anual da frota veicular em Natal.

Destaca-se que, além desses, a coleta de dados foi realizada na Secretaria de Mobilidade Urbana – SEMOB –, Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Norte – DETRAN/RN – e no Plano Diretor de Transporte da região Metropolitana – PDTM/RMN de Natal (SANTANA; FERNANDES; SAKAMOTO, 2008). No entanto, tais amostragens não foram consideradas consistentes para a análise estatística, devido às mesmas não possuírem a metodologia adotada para o horário de pico.

3.3.2.1 Variação anual do fluxo veicular no município do Natal/RN

Segundo o DNIT (DNIT, 2006), o fluxo veicular tem crescido nos últimos 18 anos a uma taxa média anual de 3.4%, com estabilização do número de veículos de carga. Esse valor corresponde à frota de veículos em circulação nas rodovias brasileiras. O crescimento anual da frota de veículos da cidade do Natal/RN está representado na Figura 20, conforme dados fornecidos pelo DETRAN (2017).

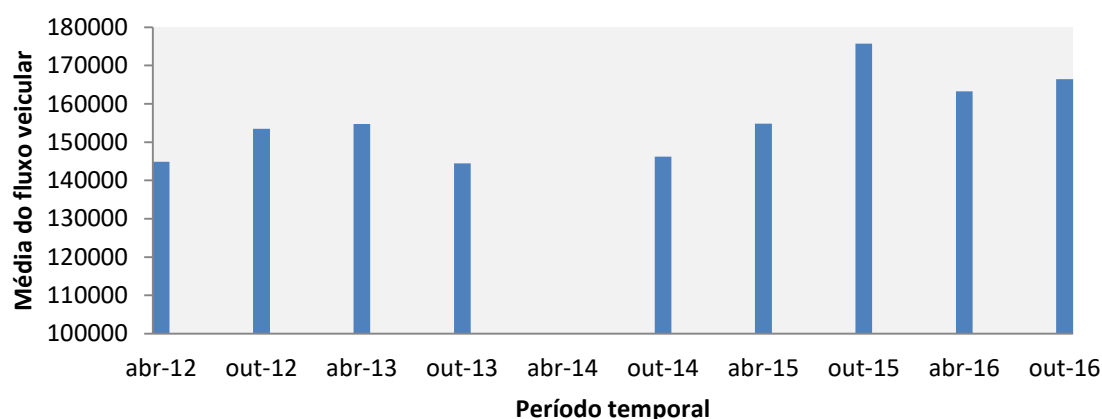
Figura 20 — Gráfico da distribuição da frota de veículos no estado do Rio Grande do Norte, interior do RN e município do Natal.



Fonte: DETRAN, 2017.

Os dados do DETRAN correspondem ao aumento anual da frota de veículos como um todo, não levando em consideração o quantitativo de veículos em circulação na cidade do Natal. Por esse motivo, realizou-se o levantamento do crescimento de veículos em circulação na cidade, por meio do quantitativo obtido em oito lombadas eletrônicas distribuídas aleatoriamente, em vias arteriais e coletoras (Apendice D). A Figura 21 representa a média diária dos dados do fluxo veicular, no qual é possível representar o crescimento no intervalo de abril de 2012 a outubro de 2016 em alguns meses do ano. Através dos dados é possível calcular a estimativa de crescimento do fluxo veicular entre os referidos anos. Os dados separados por radares encontram-se no apêndice B.

Figura 21 — Aumento do fluxo médio mensal veicular por período do ano, dos radares eletrônicos no município de Natal/RN.



Fonte: SERTTEL, 2016, elaborado pela autora, 2017.

Nota: dado de abril de 2014 não fornecido.

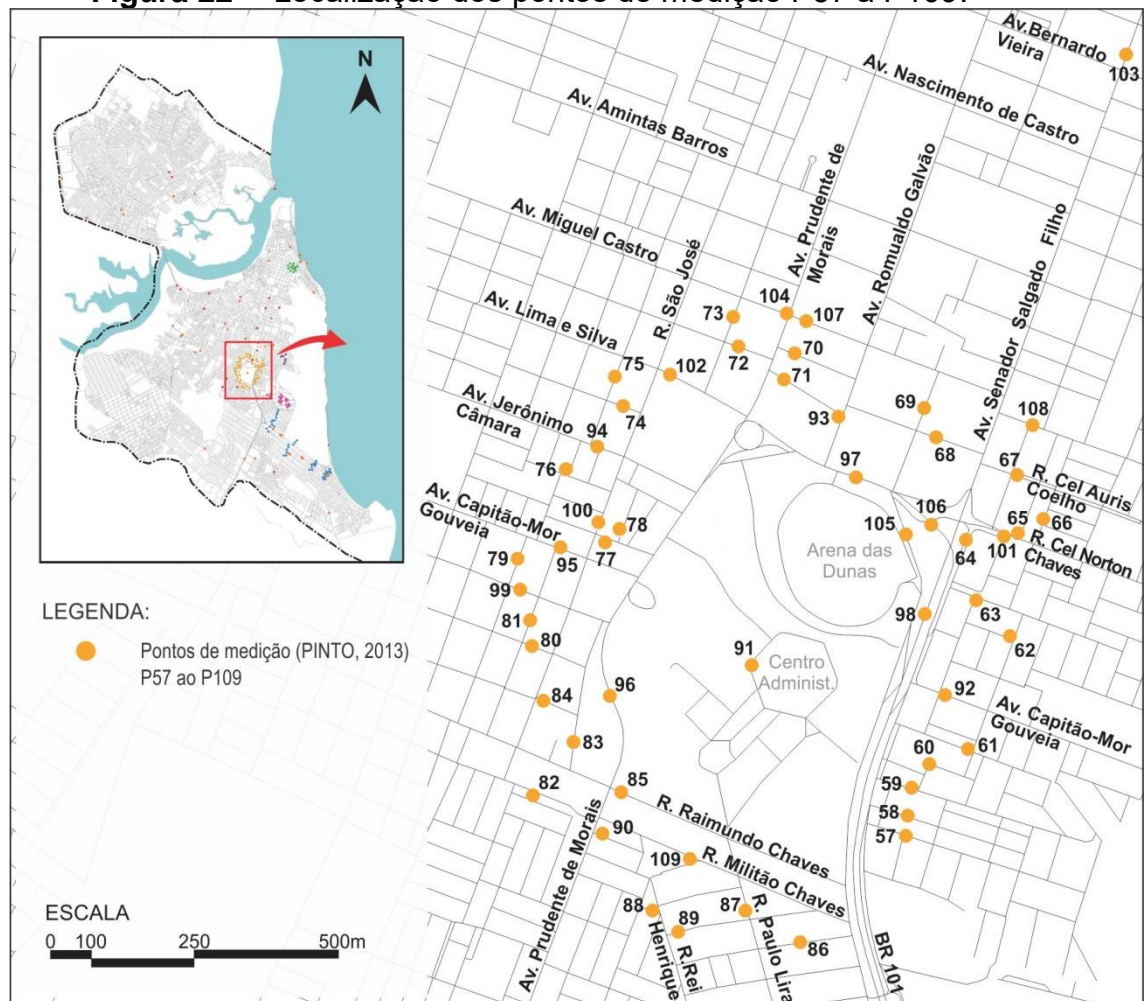
Vale ressaltar, que devido ao caráter aleatório do tráfego e as políticas públicas e econômicas, o fluxo veicular da taxa de crescimento na cidade não segue um padrão de constante de crescimento.

3.3.2.2 Pontos de medições PINTO (2013)

A dissertação de Débora Pinto (PINTO, 2013) analisa o mapeamento sonoro no entorno do estádio Arena das Dunas, no bairro de Lagoa Nova,

Natal/RN. As medições foram realizadas nos dias típicos da semana (terça, quarta e quinta), excetuando-se feriados, durante o período de Março a Junho do ano 2012. Neste estudo, foi realizada a contagem volumétrica do tráfego veicular de 42 pontos de medição (P57 a P109), dividido em grupos de veículos leves: carros/caminhonetas; e veículos pesados: motocicletas e caminhões/ônibus.

Figura 22 – Localização dos pontos de medição P57 a P109.



Fonte: PINTO (2013), editado pela autora, 2016.

Tabela 8 – Dados e informações dos pontos de medição, P57 a P109.

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO		FLUXO HORÁRIO VESPERT.		CARACTERÍSTICAS				
		LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS	COMPRI-MENTO	LARGURA (m)	LARGURA CANTEIRO	PAVIMEN-TAÇÃO	HIERAR-QUIA
57	rua Ministro Macedo Soares	74	10	74	10	534	1,0		paralela	local
58	rua Sen. Jessé Pinho Freire	39	1	39	1	375	7,0		paralela	local
59	rua da Granada	31	2	31	2	452	5,0		paralela	local
60	rua do Amianto	19	5	19	5	203	5,0		paralela	local
61	rua da Esmeralda	80	22	80	22	342	5,0		asfalto	local
62	rua do Columbita	337	36	337	36	342	5,0		asfalto	local
63	rua do Cristal de Rocha	158	25	158	25	427	6,0		paralela	local
64	marginal av. Salgado Filho	496	54	496	54	631	15,0	1,5	asfalto	arterial
65	rua Eng. Bertholdo Gurgel	44	11	44	11	373	7,0		asfalto	local
66	rua do Topázio	43	1	43	1	418	7,0		paralela	local
67	rua Lauro Medeiros	22	9	22	9	595	16,0	1,2	asfalto	local
68	rua Padre Damasceno	403	73	403	73	323	15,0		paralela	local
69	rua Morais Navarro	377	71	377	71	289	10,0		asfalto	local
70	rua Morton Farias	168	90	168	90	186	10,0		paralela	local
71	rua Fernando Barreto	22	12	22	12	173	7,0		paralela	local
72	rua Fco Borges de Oliveira	158	54	158	54	577	14,0		paralela	local
73	rua Marcilio Furtado	190	41	190	41	519	6,0		paralela	local
74	rua Macedo Lima	223	52	223	52	329	10,0		paralela	local
75	rua Joaquim Vitor de Holanda	118	32	118	32	722	8,0		paralela	local
76	rua Acari	4	0	4	0	75	7,0		paralela	local
77	rua Carnauba dos Dantas	27	3	27	3	248	8,0		asfalto	local
78	rua Equador	10	2	10	2	127	6,0		paralela	local
79	rua Coronel Joaquim Correia	36	5	36	5	456	7,0		paralela	local
80	rua Rodolfo Garcia	76	8	76	8	668	7,5		paralela	local
81	rua Mandacaru	50	3	50	3	457	6,0		paralela	local
82	rua Francisco Mignoni	44	9	44	9	524	8,0		asfalto	local
83	rua Clovis Mota	129	16	129	16	443	8,0		paralela	local
84	rua Francisco Maia Sobrinho	26	2	26	2	596	6,0		paralela	local
85	av. Libania/ Raimundo Chaves	425	27	425	27	1905	9,0		asfalto	coletora
86	rua Prof. Moura Rabelo	144	6	144	6	414	10,0		paralela	local
87	rua Paulo Lira	181	3	181	3	718	10,0		paralela	local
88	rua Coimbra	147	6	147	6	1114	9,0		paralela	coletora
89	rua João Paulo I	33	1	33	1	316	7,0		paralela	local
90	rua Madre vasconcelos	24	0	24	0	107	7,0		paralela	local
91	Centro Administrativo	128	9	128	9		7,0		paralela	local
92	av. Cap. Mor Gouveia Campus	490	163	490	163	956	16,0	2,0	asfalto	arterial
93	av. Romualdo Galvão	1500	376	1500	376	2900	19,0	2,5	asfalto	arterial
94	av. Jerônimo Câmara	542	246	542	246	2564	13,0	1,3	asfalto	coletora
95	av. Cap. Mor Gouveia Rodov.	1266	639	1266	639	3964	16,0	2,0	asfalto	arterial
96	av. Prudente de Moraes	2518	541	2518	541	10626	23,0	5,0	asfalto	arterial
97	Lima e Silva	3247	1078	3247	1078	4631	23,0	5,0	asfalto	coletora
98	Salgado Filho	6938	2223	6938	2223	11583	64,0	10,0	asfalto	arterial
99	rua Drua Paulo Pinto de Abreu	77	11	77	11	559	7,2		paralela	local
100	av. São José	932	132	932	132	3164	21,0	1,0	asfalto	coletora
101	av. Lima e Silva Campus	972	193	972	193	4631	28,0	1,0	asfalto	coletora
102	av. Lima e Silva residencial	226	42	226	42	4631	14,0		asfalto	coletora
103	Salgado Filho Bobs	4111	1228	4111	1228	11583	21,0	2,0	asfalto	arterial
104	Prudente de Moraes Pitts	2135	599	2135	599	10626	21,0	4,0	asfalto	arterial
105	Retorno Lima e Silva	192	29	192	29	4631	18,0	1,0	asfalto	coletora
106	Salgado Filho viaduto	1510	533	1510	533	11583	9,0		asfalto	arterial
107	av. Miguel Castro	735	154	735	154	3527	12,0		asfalto	coletora
108	rua Coronel Auriz Coelho	365	45	365	45	704	15,0		paralela	local
109	rua Militão Chaves	75	12	75	12	628	12,0		asfalto	local

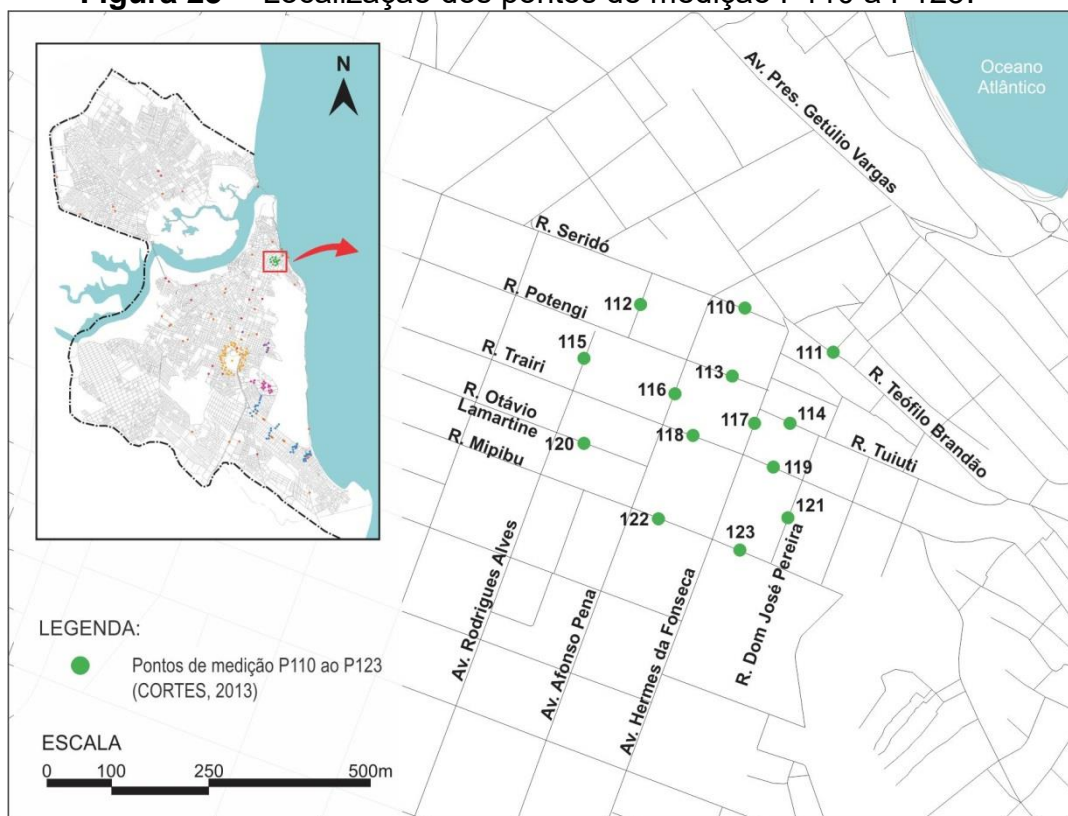
Fonte: PINTO (2013), editado pela autora, 2016.

Os dados de Pinto (2013) foram coletados durante três dias no período de 5 minutos no horário das 7-8h. A partir do estudo estatístico do crescimento de tráfego apresentado anteriormente, a taxa de crescimento do fluxo veicular do período de abril 2012 para abril 2016 é de 12%. A figura 21 mostra os dados coletados, corrigidos com a taxa de crescimento em fluxo horário.

3.3.2.3 Pontos de medições CORTÊS (2013)

A dissertação de Marina Cortês (CORTÊS, 2013) analisa o mapeamento sonoro no bairro de Petrópolis, Natal/RN. As medições foram realizadas nos dias típicos da semana (terça, quarta e quinta), excetuando-se feriados, durante o mês Junho do ano 2012 e Janeiro de 2013. Foi coletada a contagem volumétrica do tráfego veicular de 14 pontos de medição (P110 a P123), dividido em grupos de: carros e caminhonetas; motocicletas; e caminhões/ônibus.

Figura 23 — Localização dos pontos de medição P110 a P123.



Fonte: CORTES (2013), editado pela autora, 2016.

Os dados foram coletados durante três dias no período de 5 minutos no horário diurno das 7-9h e no período noturno das 17-19h.

A partir do estudo estatístico do crescimento de tráfego apresentado anteriormente, a taxa de crescimento do fluxo veicular do período de outubro de 2012, representando um período intermediário às medições realizadas para abril 2016 é de 7%. A Tabela 09 mostra os dados coletados, corrigidos com a taxa de crescimento em fluxo horário.

Tabela 9 – Dados e informações dos pontos de medição, P110 a P123.

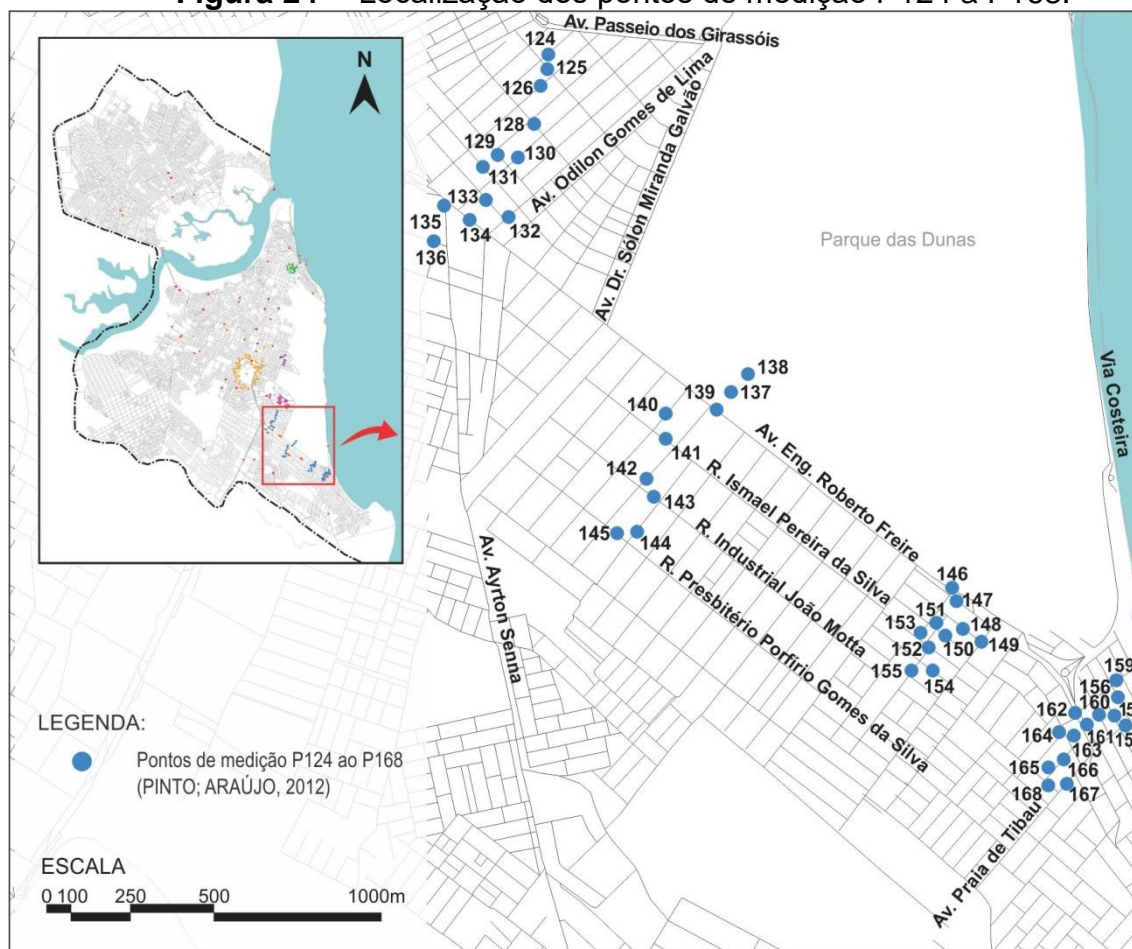
PONTOS	LOCALIZAÇÃO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO		FLUXO HORÁRIO VESPERT.		CARACTERÍSTICAS				
		LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS	COMPRI- MENTO	LARGURA	(m)	LARGURA CANTEIRO	PAVIMEN- TAÇÃO
110	rua Seridó	39	0	90	0	860	13,0		paralela	local
111	rua Teófilo Brandão	13	13	39	0	415	5,0		paralela	local
112	rua Enéas Reis	39	13	103	0	86	6,0		paralela	local
113	rua Potengi	835	39	797	26	1306	15,3	2,4	asfalto	coletora
114	rua Tuiuti	347	26	218	39	386	15,0		asfalto	local
115	av. Rodrigues Alves	373	13	411	13	1796	24,0	6,5	asfalto	coletora
116	av. Afonso Pena	1259	51	1362	51	2214	23,0	5,0	asfalto	coletora
117	av. Hermes da Fonseca	2789	218	3046	141	11583	24,0	5,0	asfalto	arterial
118	rua Trairi	141	13	206	0	3052	14,0		asfalto	coletora
119	rua Trairi	501	26	578	26	3052	11,9		asfalto	coletora
120	rua Otávio Lamartine	26	0	64	0	407	9,0		paralela	local
121	rua Dom Jose Pereira Alves	51	13	51	13	193	6,0		asfalto	local
122	rua Mipibu	103	13	90	0	2529	13,5		paralela	local
123	rua Mipibu	51	13	103	0	2529	13,5		paralela	local

Fonte: CORTES (2013), editado pela autora, 2016.

3.3.2.4 Pontos de medições por PINTO; ARAÚJO (2013)

Débora Pinto e Bianca Araújo (2013) realizaram o mapeamento sonoro na área de influência da Av. Roberto Freire. As medições foram realizadas nos dias típicos da semana (terça, quarta e quinta), excetuando-se feriados, durante o mês de novembro do ano 2012. Foi coletada a contagem volumétrica do tráfego veicular de 45 pontos de medição (P124 a P168), dividido em grupos de: carros e caminhonetas; motocicletas; e caminhões/ ônibus.

Figura 24 — Localização dos pontos de medição P124 a P168.



Fonte: PINTO; ARAÚJO (2013), editado pela autora, 2016.

Os dados foram coletados durante três dias durante 5 minutos, no horário diurno das 7-8h e no período vespertino das 12-13h.

A partir do estudo estatístico do crescimento de tráfego apresentado anteriormente, a taxa de crescimento do fluxo veicular do período de outubro de 2012 a abril 2016 é de 7%. A Tabela 10 mostra os dados coletados, corrigidos com a taxa de crescimento em fluxo horário.

Tabela 10 – Dados de tráfego e características das vias dos pontos P124 a 168.

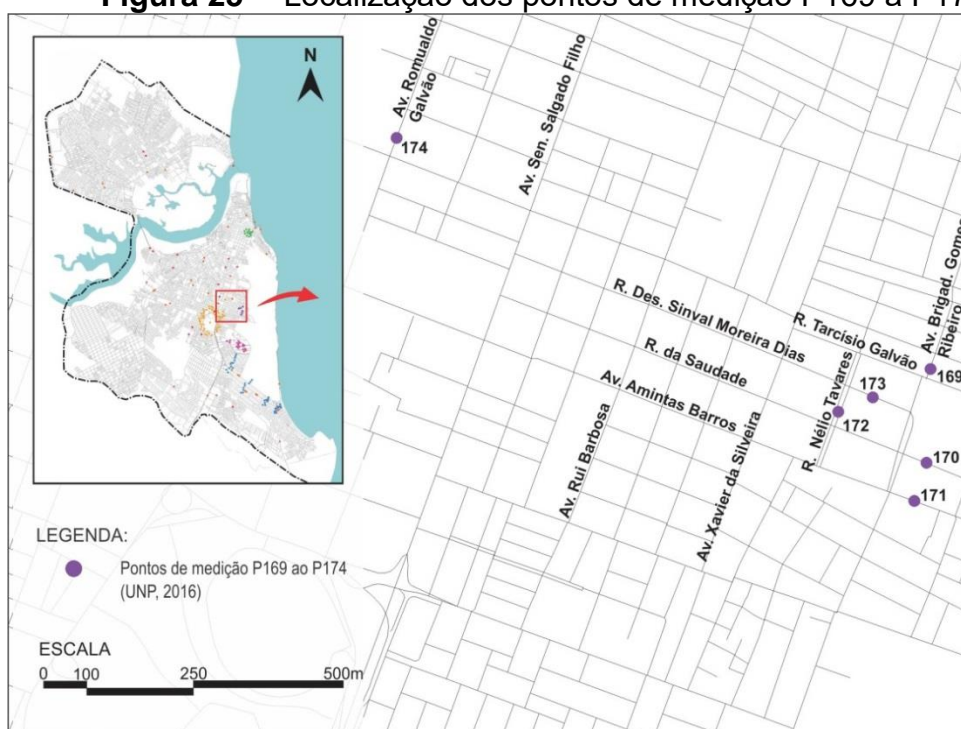
PONTOS	LOCALIZAÇÃO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO		FLUXO HORÁRIO VESPERT.		CARACTERÍSTICAS				
		LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS	COMPRI- MENTO	LARGURA (m)	LARGURA CANTEIRO	PAVIMEN- TAÇÃO	HIERAR- QUIA
124	rua Nelson Bahia	39	0	0	0	564	7,0		asfalto	local
125	rua João Machado	64	0	39	0	865	7,0		asfalto	local
126	rua Monte Sinai	77	0	180	0	914	15,0	2,0	asfalto	local
127	rua do rebaixamento	26	0	64	0		7,0		asfalto	local
128	rua prof Bilac Faria	26	0	51	0	708	7,0		asfalto	local
129	rua João Ferreira de Melo	193	0	77	0	1149	7,0		asfalto	local
130	av. Gustavo Guedes	90	0	218	0	1040	14,0	1,0	asfalto	local
131	av. Gov. José Varela	604	0	603	13	1203	17,0	1,0	asfalto	local
132	av. Odilon Gomes de Lima	578	0	745	0	1162	14,0	1,0	asfalto	local
133	rua Coronel Milton Freire	64	0	116	0	458	9,0		asfalto	local
134	av. Roberto Freire	5449	244	5616	167	6656	35,0	3,0	asfalto	arterial
135	av. Ayrton Sena	1144	77	1388	13	3806	12,0		asfalto	arterial
136	rua Orlando Silva	103	0	218	0	222	7,0		paralel	local
137	Parque das dunas Mata (a 100m)	0	0	0	0					
138	Parque das dunas Campo (a 200m)	0	0	0	0					
139	av. Roberto Freire	4935	141	5334	116	6656	28,0	3,0	asfalto	arterial
140	rua Neuza Farache	51	0	129	0	847	16,0		intertra	local
141	rua Ismael P da Silva	424	0	501	0	1726	13,0		asfalto	local
142	rua Antonio Farache	103	0	129	0	852	15,0		intertra	local
143	rua Ind. João Mota	141	0	116	0	1562	15,0		intertra	local
144	rua Antonio Madruga	26	0	0	0	634	15,0		intertra	local
145	rua presb. Porfílo Gomes da Silva	116	0	218	0	1591	14,0		asfalto	local
146	av. Roberto Freire	3663	116	4074	167	6656	28,0	2,0	asfalto	arterial
147	rua Ernandes Hugo	51	0	90	0	139	7,0		asfalto	local
148	rua Ilce Marinho	90	0	167	0	386	8,0		asfalto	local
149	rua HF Fausto Souza	270	0	283	0	1035	9,0		asfalto	coletora
150	rua Luciano Bahia	141	0	90	0	386	11,0		asfalto	local
151	rua Largo Capim Macio1	51	0	64	0	137	15,0		asfalto	local
152	rua Alcinto D Oliveira	231	13	296	0	156	11,0		asfalto	local
153	rua Largo de C Macio2	77	0	103	0	140	11,0		asfalto	local
154	rua João Rodrigues da Silva	90	0	64	0	143	14,0		asfalto	local
155	rua JWilson CBarbalho	39	0	13	0	479	12,0		asfalto	local
156	rua Helio Galvão	13	0	39	0	625	7,0		paralel	local
157	rua Manoel S Medeiros	51	0	77	0	201	8,0		paralel	local
158	rua Pedro F Filho	51	0	64	0	1629	7,0		paralel	local
159	rua José A de Carvalho	103	0	103	0	256	7,0		paralel	local
160	av. ROBERTO FREIRE	2879	154	4344	141	6656	19,0	1,0	asfalto	arterial
161	av. Praia de P Negra	116	0	373	0	1714	14,0		paralel	coletora
162	rua Praia B da Traição	13	0	26	0	64	7,0		paralel	local
163	rua Praia C São Roque	51	0	51	0	562	7,0		paralel	local
164	rua Praia do Sagi	13	0	39	0	197	7,0		paralel	local
165	Areia Branca	167	64	296	0	520	8,0		asfalto	local
166	rua Praia do Bessa	13	0	51	0	167	7,0		paralel	local
167	av. Praia de Tibau	668	26	617	13	715	9,0		asfalto	coletora
168	rua Porto das Oficinas	51	0	77	0	330	7,0		paralel	local

Fonte: PINTO; ARAÚJO (2013), editado pela autora, 2016.

3.3.2.5 Pontos de medições por UNP (2016)

Alunos da Universidade Potiguar realizaram medições *in loco* para disciplina de planejamento urbano. As medições foram realizadas nos dias típicos da semana (terça, quarta e quinta), excetuando-se feriados, durante o mês de Abril do ano de 2016. Foi coletada a contagem volumétrica do tráfego veicular de 6 pontos de medição (P169 a P174), dividido em grupos de carros e caminhonetes; motocicletas; caminhões/ônibus.

Figura 25 – Localização dos pontos de medição P169 a P174.



Fonte: UNP (2016), editado pela autora, 2016.

Tabela 11 – Dados de tráfego e características das vias dos P169 a P174.

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO		FLUXO HORÁRIO VESPERT.		CARACTERÍSTICAS				
		LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS	COMPRIMENTO	LARGURA (m)	LARGURA CANTEIRO	PAVIMENTAÇÃO	HIERARQUIA
169	av. Brigadeiro Gomes Ribeiro	844	60	300	64	1770	26,0	12,0	paralela	coletora
170	rua da Saudade	556	112	672	36	1240	9,5		asfalto	local
171	av. Amintas Barros	80	12	160	20	5361	14,0	2,0	asfalto	coletora
172	rua Nélio Tavares	80	12	160	24	443	16,0	6,0	paralela	local
173	rua Des Sinval Pereira Dias	48	12	160	20	959	7,5		paralela	local
174	av. Romualdo Galvão	2264	364	1704	185	2900	18,5		asfalto	coletora

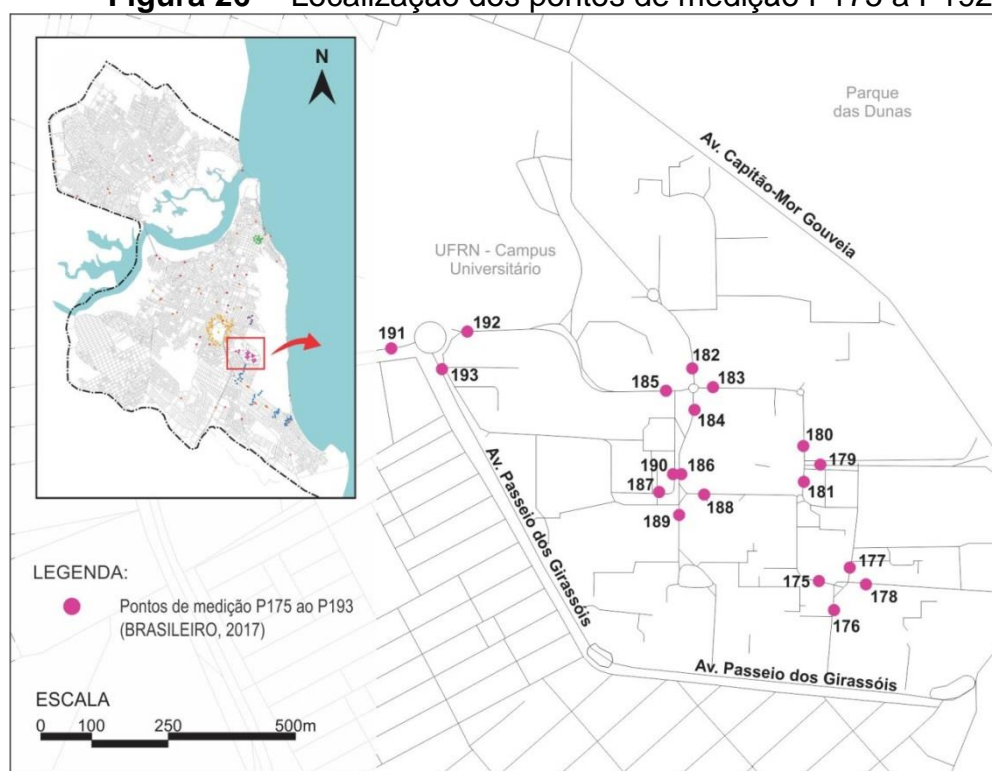
Fonte: UNP (2016), editado pela autora, 2016.

As medições foram realizadas no mês de abril de 2016. Os dados foram coletados durante 1 (um) dia no período de 1 hora, sendo selecionados os 15 minutos de pico no horário diurno das 7-8h e no período noturno das 17-18h.

3.3.2.5 Pontos de medições por BRASILEIRO et al (2017)

No trabalho de Tamáris Brasileiro et al (2017), realizaram a coleta de dados do campus da UFRN com a finalidade de gerar o mapeamento sonoro publicado no Congresso Brasileiro de Acústica (SOBRAC). As medições foram realizadas nos dias típicos da semana (terça, quarta e quinta), excetuando-se feriados, durante o mês de novembro do ano 2016. Foi coletada a contagem volumétrica do tráfego veicular de 19 pontos de medição (P175 a P193), dividido em grupos de: carros e caminhonetas; motocicletas; e caminhões/ônibus.

Figura 26 – Localização dos pontos de medição P175 a P192.



Fonte: BRASILEIRO et al, 2017, editado pela autora, 2017.

Os dados foram coletados durante 1 (um) dia no período de 1 hora, sendo selecionados os 15 minutos de pico no horário diurno das 7-8h e no período noturno das 17-18h.

A partir do estudo estatístico do crescimento de tráfego apresentado anteriormente, a taxa de crescimento do fluxo veicular do período de outubro de 201 a abril 2016 é de decrescimento de -6.3% A Tabela 12 mostra os dados coletados, corrigidos com a taxa de crescimento em fluxo horário.

Tabela 12 — Dados de tráfego e características das vias dos pontos P175 a P192.

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO				FLUXO HORÁRIO VESPERT.				FLUXO HORÁRIO PICO-MÉDIA		
		LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL
175	rua das Exatas	45	0	45	59	157	17	174	61	101	8	110
176	rua da Tecnologia	186	0	186		146	39	186		166	20	186
177	rua do Agora	62	0	62		84	39	124		73	20	93
178	rua das Engenharias	28	0	28	61	96	6	101	62	62	3	65
179	rua das Humanidades	90	17	107		371	45	416		231	31	261
180	rua da Biblioteca 01	118	0	118		157	11	169		138	6	143
181	rua da Biblioteca 02	197	22	219	63	197	28	225	64	197	25	222
182	rua da Saúde	186	17	202		270	62	332		228	39	267
183	rua das Sociais Aplicadas	247	34	281		281	51	332		264	42	306
184	rua da Reitoria	180	28	208	60	259	22	281	67	219	25	245
185	rua do Meio Ambiente	394	67	461		512	90	602		453	79	531
186	Acesso secundário Reitoria	45	22	67		0	11	11		22	17	39
187	rua da Reitoria	107	6	112	67	129	39	169	67	118	22	141
188	rua da Convivência	141	11	152		186	17	202		163	14	177
189	rua das Biociências	118	0	118		101	11	112		110	6	115
190	Entrada estacionamento da Reitoria	51	17	67	67	51	6	56	67	51	11	62
191	rua Cel. João Medeiros	1136	219	1355		877	186	1063		1006	202	1209
192	rua do Meio Ambiente	579	112	692		686	101	787		632	107	739
193	av. Passeio dos Girassóis	461	180	641		630	101	731		545	141	686

Fonte: BRASILEIRO et al, 2017, editado pela autora, 2017.

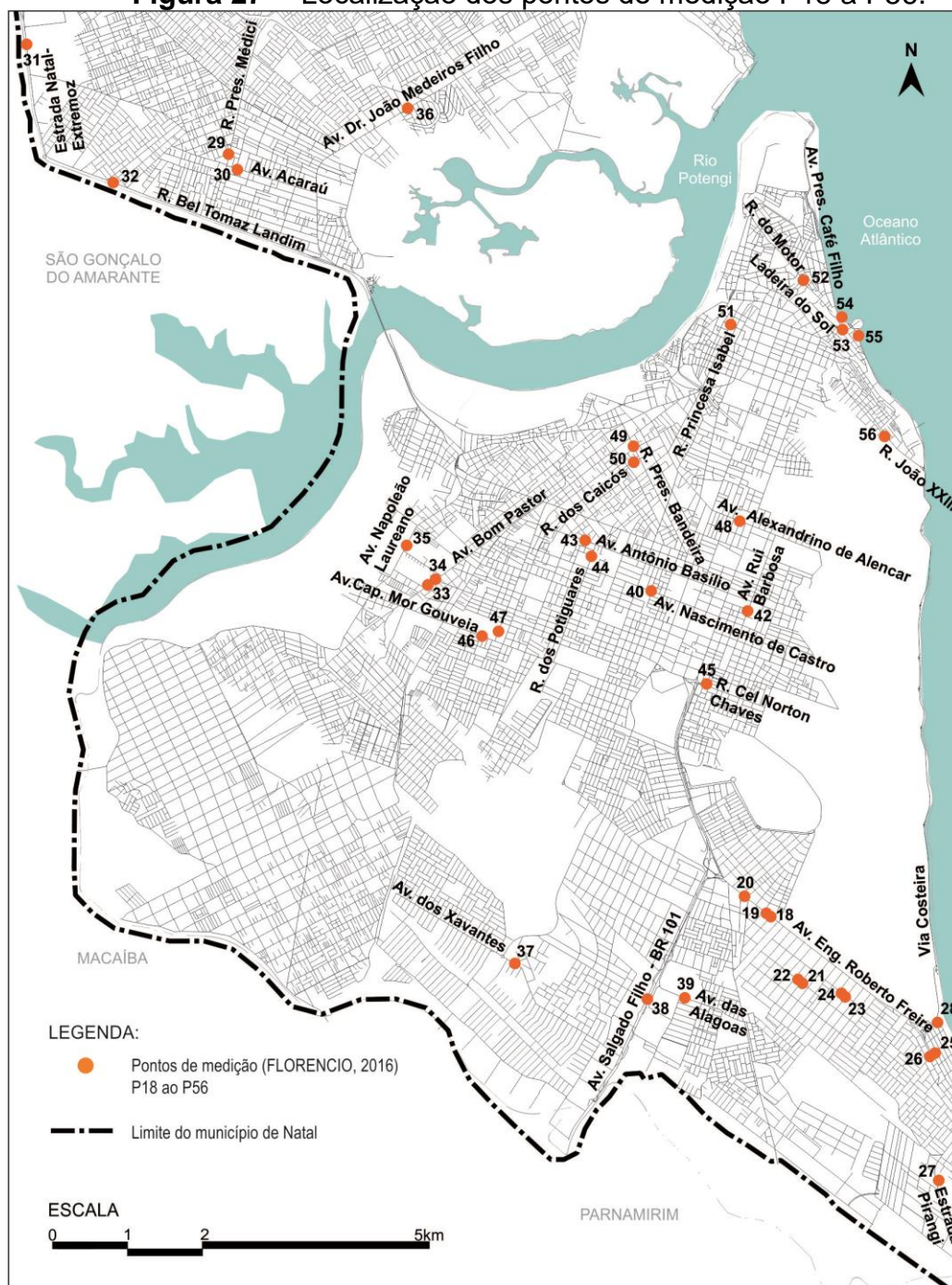
3.3.3 Pontos de medição coletados *in loco* em 2016

Além dos radares eletrônicos, inseriu-se na pesquisa pontos de medição coletados *in loco*. Para isso, selecionou-se o mínimo um ponto de medição em cada via arterial da cidade, totalizando 18, e nas vias coletoras registrou-se 17 pontos de medição distribuídos uniformemente em todas as regiões administrativas da cidade e 4 pontos em vias locais, com características de fluxo veicular distinto (P18 ao P56), totalizando 39 pontos de medição.

Foram coletados dados de tráfego e níveis de pressão sonora. Vale ressaltar que, dentro desses pontos medidos, foram realizadas medições com o sonômetro em 27 pontos, já que, nas medições realizadas em esquinas, foi coletada a contagem de tráfego simultaneamente nas duas vias que se

cruzam, e sonômetro captando o nível de pressão sonora de uma via localizado na esquina.

Figura 27 — Localização dos pontos de medição P18 a P56.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

As medições foram realizadas no mês de abril de 2016, em um dia de medição com 10 minutos no horário das 7h às 8h, e das 17 às 18h, totalizando 20 minutos de medição por ponto/dia.

Tabela 13 – Dados de tráfego e características das vias dos pontos P18 a P56.

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO		FLUXO HORÁRIO VESPERT.		CARACTERÍSTICAS					
		LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS	COMPRI- MENTO	LARGURA (m)	LARGURA CANTEIRO	PAVIMEN- TAÇÃO	HIERAR- QUIA	
18	av. Roberto Freire	3576	522	3720	786	3404	25,5	6,4	asfalto	arterial	
19	rua Adolfo Ramires	18	1	6	1	823	9,6		paralelo	local	
20	av. Roberto Freire	3240	1122	3378	948	3404	25,5	6,4	asfalto	arterial	
21	rua Mis Joel Carlson	126	24	144	6	1013	12,5		paralelo	local	
22	rua João Mota	138	12	222	30	1566	10,0		paralelo	local	
23	rua Dirce Coutinho	330	6	372	78	1000	10,0		asfalto	coletora	
24	rua Ismael Pereira da Silva	342	36	138	12	1550	14,0		asfalto	local	
25	av. Roberto Freire	1620	330	2040	180	3404	19,7	2,7	asfalto	arterial	
26	av. Praia de Tibau	1260	120	2184	486	770	8,0		asfalto	coletora	
27	av. Rota do sol	1776	330	1716	270	6000	17,5	2,5	asfalto	arterial	
28	av. Via Costeira	1872	258	2262	588	11772	18,5	3,2	asfalto	arterial	
29	av. Presidente Medice	828	414	2076	1680	4425	7,0		asfalto	arterial	
30	rua Acaraú	324	162	570	450	1218	13,0		asfalto	coletora	
31	Estrada Natal-extremoz RN 360	726	588	144	120	3613	18,5	4,0	asfalto	arterial	
32	av. Tomaz Landim	2160	1176	606	384	8360	17,0	2,0	asfalto	arterial	
33	av. Lima e Silva	714	360	558	324	4631	14,0		asfalto	coletora	
34	av. Bom Pastor	240	120	726	738	1942	7,5		asfalto	coletora	
35	av. Laureano	672	834	1974	1158	7999	22,0	6,0	asfalto	arterial	
36	av. Joao medeiros	1770	966	1920	1080	9671	13,8	1,6	asfalto	arterial	
37	av. Xavante	678	150	900	228	4341	8,0		asfalto	coletora	
38	BR, em frente ao Assaí	4380	1746	4056	1938	11583	42,0	13,0	asfalto	arterial	
39	av. das Alagoas	2082	402	1656	414	2051	19,0	6,0	asfalto	coletora	
40	av. Nascimento de castro	1188	186	1422	420	3735	23,0	6,5	asfalto	coletora	
41	av. Amintas Barros	882	300	864	132	5361	18,5	5,0	asfalto	coletora	
42	av. Rui Barbosa	1440	162	1848	168	2165	14,0	1,0	asfalto	coletora	
43	av. Antônio Basílio	870	474	1200	468	4296	21,0	7,5	asfalto	coletora	
44	av. Dos Potiguares	780	156	420	564	1639	14,0		asfalto	coletora	
45	av. Interventor Mario Camara	834	372	954	1560	7416	14,0	1,5	asfalto	arterial	
46	av. Cap. Mor Gouveia	702	492	1632	1116	3964	21,0	3,0	asfalto	arterial	
47	av. Coronel Estevam	420	180	480	204	4734	14,0		asfalto	arterial	
48	av. Alexandrino de Alencar	2268	264	2124	342	3121	23,5	4,5	asfalto	coletora	
49	av. Presidente Bandeira	522	444	612	372	2115	22,0	7,5	asfalto	coletora	
50	av. Dos Caicós	678	342	792	252	4734	13,0		asfalto	coletora	
51	av. Rio Branco	738	366	696	396	6061	13,0		asfalto	arterial	
52	rua do motor	120	18	36	24	972	5,5		asfalto	coletora	
53	av. Getúlio Vargas	822	156	960	204	674	18,0	4,0	asfalto	arterial	
54	av. Presidente Café Filho	720	108	870	162	1949	12,0		asfalto	arterial	
55	av. Sylvio Pedrosa (veiculo)	1872	288	2262	306	9823	9,0		asfalto	arterial	
56	av. João XXIII (Leq+ veiculo)	252	150	53	126	3052	7,0		asfalto	coletora	

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

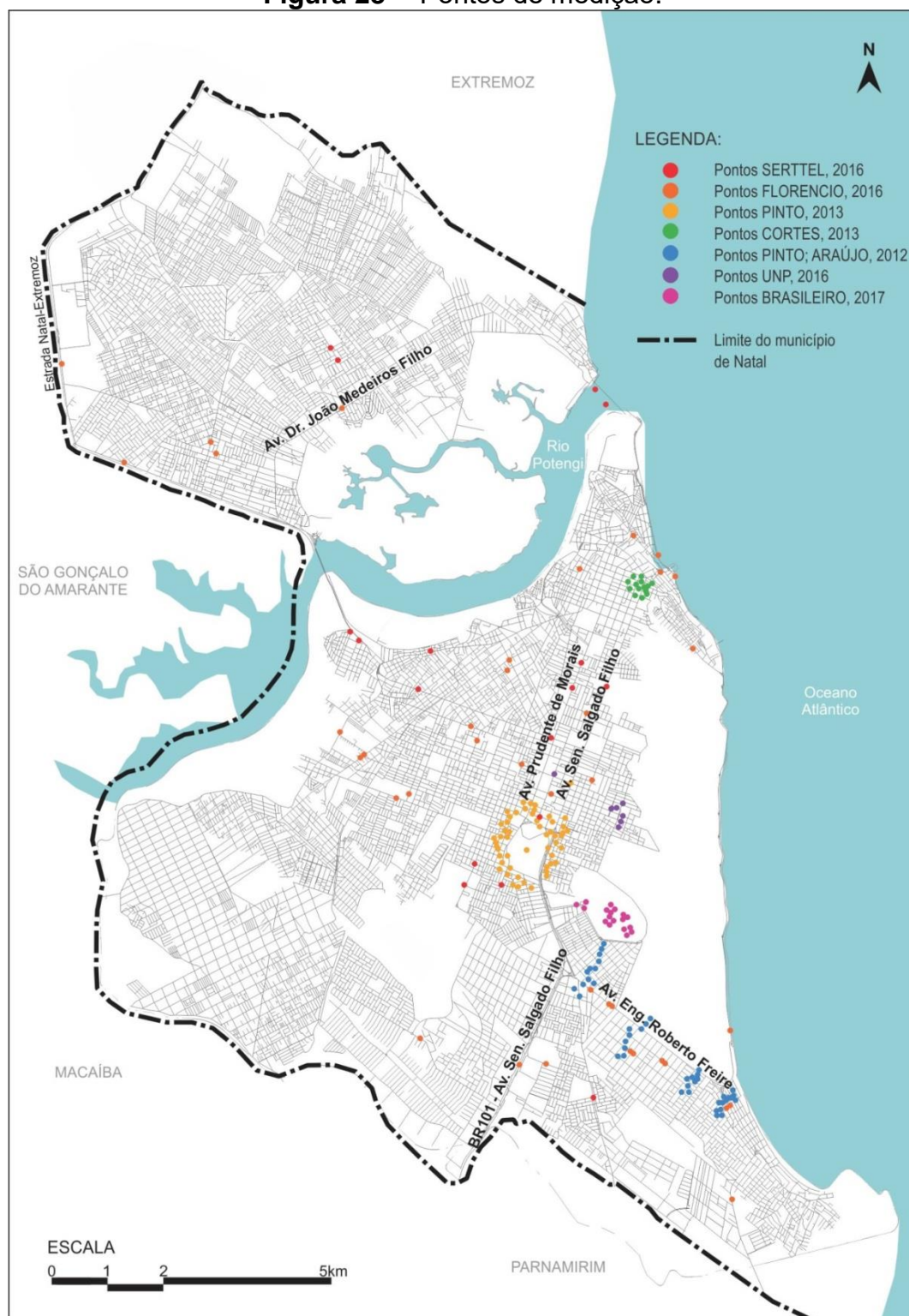
3.3.4. Resumo da coleta dos dados

No total, foram utilizados dados de **193 pontos** de medição distribuídos na cidade (Figura 28), sendo 47 pontos em vias arteriais, 40 pontos em vias coletoras, 104 pontos em vias locais e dois pontos no parque das dunas.

Estatisticamente os dados para o período de Abril de 2016 (data dos mapas acústicos para essa pesquisa), foram estimados durante o horário de

pico das 7-8h e 17-18h. No apêndice C, encontram-se os dados de cada ponto de medição.

Figura 28 – Pontos de medição.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

4. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Na inserção dos dados de entrada no *software* se faz necessário avaliar algumas informações previamente definidas. Nesse sentido, realizou-se as seguintes etapas metodológicas:

Inicialmente, foram avaliadas as áreas verdes com o objetivo de determinar os dados de entrada dos cinturões verdes existentes na área objeto de estudo para a atenuação sonora.

Em seguida, foram estudadas formas que acelerassem o tempo de cálculo, já que, por se tratar de mapa sonoro de uma extensa área, as simulações podem demorar dias ou semanas. Vale ressaltar que essa simplificação do tempo não pode gerar prejuízos nos resultados e na calibragem das simulações.

Em uma terceira etapa, foi realizada a calibragem do modelo para validar se a simulação encontra-se de acordo com os dados medidos *in loco*.

Por fim, foi realizada a tipificação das vias: os dados coletados não foram de todas as vias da cidade (193 pontos de medição), assim, foi necessário estimar estatisticamente os dados das vias cujos dados não foram coletados *in loco*, a fim de criar tipos (grupos) com características comuns.

4.1 ATENUAÇÃO SONORA DAS ÁREAS VERDES

As áreas verdes são importantes para atenuação sonora ao ar livre. O município do Natal/RN apresenta grande quantidade de cinturões verdes, por isso se faz necessário avaliar a inserção de dados conforme as características da vegetação local. Para inserir o volume de atenuação sonora no *software*, foi necessário inserir a demarcação de áreas verdes, as propriedades de altura efetiva da vegetação e a atenuação sonora pela distância (decaimento sonoro de dB para cada 1 metro).

Conforme Bistafa (2011), as áreas verdes funcionam como cinturões para atenuação acústica, no qual a eficácia da atenuação dependerá de vários aspectos, como largura, localização, altura e configuração do plantio. Para o mapeamento sonoro de Natal, consideraram-se apenas as áreas verdes densamente arborizadas. Um grupo de árvores e/ou arbustos é considerado denso se ao longo do caminho, é impossível ver através da vegetação, onde o caminho de transmissão sonora direta é visivelmente bloqueado. Assim, a configuração do plantio irá ocasionar o decaimento sonoro por metro, conforme a tabela 14:

Tabela 14 – Atenuação por metro.

Fonte	Configuração do plantio	Atenuação (dB/m)
BERNATZKY (1978)	Cinturão denso e estratificado	0,16 dB/m
BRAUNSTEI; BERNDT (2008)	Bosque	0,05 a 0,10 dB/m

Fonte: BERNATZKY (1978), BRAUNSTEI; BERNDT (2008), organizado pela autora, 2017.

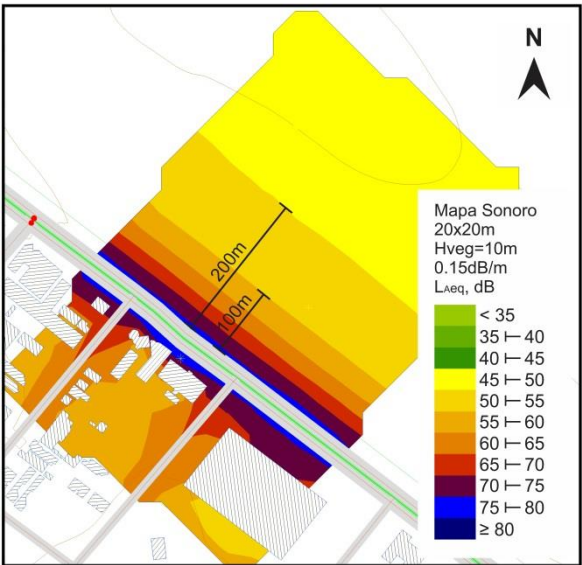
Como forma de identificar a atenuação sonora provocada pelas áreas de vegetação densas em Natal/RN, delimitou-se uma área do Parque das Dunas ao longo da Av. Roberto Freire, cujo tráfego de veículos é bastante intenso. Posicionaram-se dois pontos no interior da mata, o primeiro a 100 metros da via, o segundo a 200 metros, e um ponto ao longo da Avenida Roberto Freire.

Para calibragem dos parâmetros de áreas de atenuação (*attenuation area*), foram realizadas comparações entre os dados medidos *in loco* e os dados simulados por meio da atenuação sonora pela distância (Tabela 15 e Figura 28).

Tabela 15 — Dados da atenuação sonora pela distância.

Atenuação dB/m	Dados medidos <i>in loco</i>			Dados simulados		
	Fonte	100m	200m	Fonte	100m	200m
0,05	74	52	49	74	58	51
0,10				74	54	49
0,15				74	52	49
0,20				74	52	48

Figura 29 — Mapa da atenuação sonora pela distância.



Fonte: elaborado pela autora no *software* SoundPLAN®, 2017.

Como resultado, a atenuação de 0,15 dB/m representou o decaimento sonoro existente na área. Vale ressaltar que esse dado foi utilizado como parâmetro para todas as áreas verdes da cidade do Natal/RN.

4.2 ACELERAÇÃO DO TEMPO DE CÁLCULO NO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O tempo de cálculo no *software* SoundPLAN®, é considerado extenso, principalmente para o mapeamento sonoro de grandes áreas territoriais. Para a realização de mapas sonoros, o processamento de dados de um bairro pode demorar demasiado tempo.

Segundo Braunstei e Berndt (2008), a escolha do *grid* (interpolação das quadriculas de processamento dos dados) depende da precisão, do tempo de processamento e do tamanho da área do objeto de estudo. Em áreas pouco urbanizadas, o espaçamento do *grid* de 20 a 50m é suficiente para representá-

las, enquanto que para ambientes densamente construídos esse valor pode ser de 5 a 15m.

Devido à grande extensão do universo de estudo, por se tratar do mapeamento sonoro de uma cidade, realizaram-se alguns estudos-teste com o intuito de identificar o tempo da simulação e as diferenças na representação.

Para o teste utilizou-se um servidor da UFRN, no qual possui processador Intel(R) Xeon(R), CPU E31270 @3.40GHz, memória RAM de 16GB, HD de 1TB, sistema operacional Windows 7 profissional, de 64 Bits.

Nas primeiras simulações, começou-se a observar que havia distorções nos mapas sonoros em áreas de concentração de tráfego veicular, como as rotatórias. Nesse sentido, o estudo-teste foi realizado em parte do bairro Lagoa Nova, que engloba uma área densamente construída intercalada com área livre, uma via expressa de grande fluxo veicular (Av. Senador Salgado Filho) e uma rotatória no anel viário da UFRN.

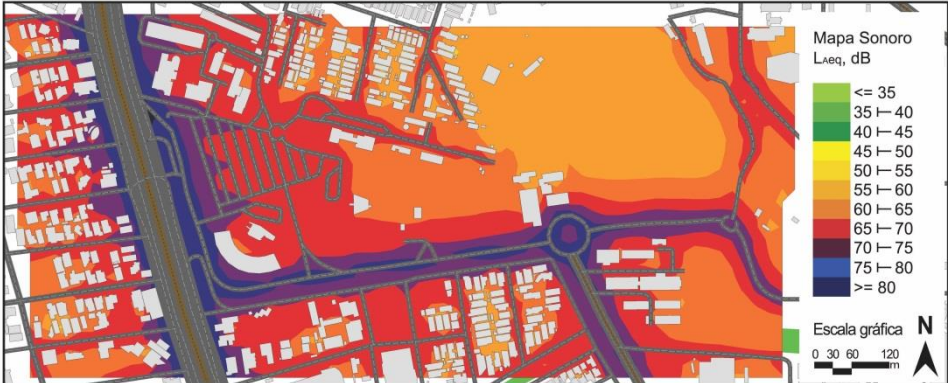
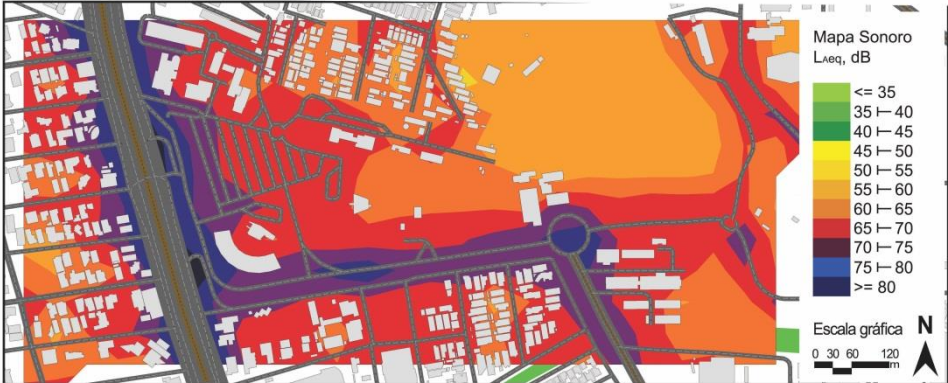
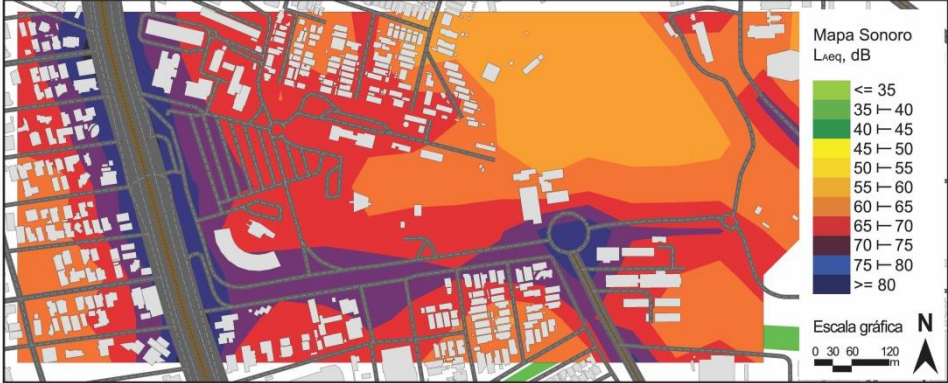
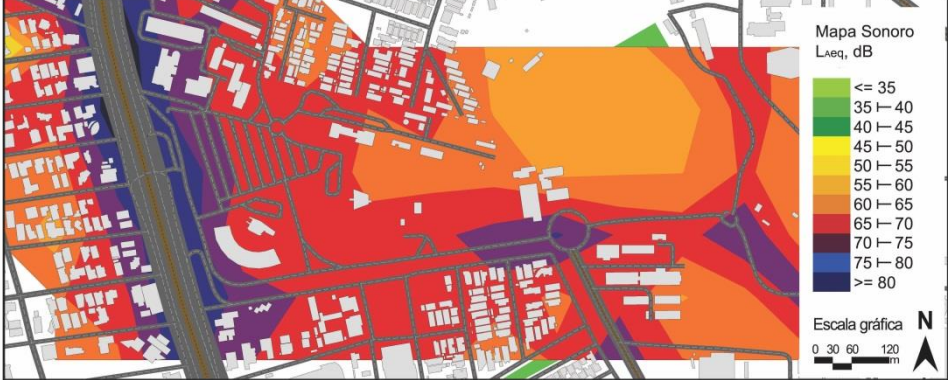
Conforme a tabela 16 realizaram-se estudos-testes com diferentes *grids* de cálculo, utilizando três reflexões e raio de busca de 5.000m, sendo registrado o tempo de processamento que se levou para geração de cada mapa.

Identificou-se que o grid 20x20m encontra-se mais adequado para a representação de áreas na escala de bairro, visto que o comportamento do ruído nas vias locais e nas rotatórias é mais preciso, porém em um extenso tempo.

O grid 50x50m também é representativo, mas seu uso deve levar em consideração o tamanho da área mapeada no qual já se mostrou satisfatório em outras simulações com este grid (PINTO, 2013; BRASILEIRO, 2017).

O uso de malhas maiores, apesar de maior agilidade no processamento, resulta na simplificação do cálculo, onde foi constatado que o grid 70x70m apresentou grandes distorções nos mapas sonoros, e a aplicação do grid 100x100m dificilmente é indicada, mesmo utilizada em macro-escala, por apresentar simplificações de cálculos.

Tabela 16 – Estudos-testes com diferentes grids de cálculo no *software*.

Dados	Mapas acústicos
<p>(A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 20x20m ● Tempo: 34h04 	
<p>(B)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 50x50m ● Tempo: 7h15 	
<p>(C)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 70x70m ● Tempo: 5h30 	
<p>(D)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 100x100 m ● Tempo: 2h22 	

Fonte: elaborado pela autora no *software* SoundPLAN®, 2017.

Para Aline Nardi (2008), menores *grids* ocasionam aumento “parabólico” no cálculo. Segundo Braunstei e Berndt (2008), podem ser aplicados os seguintes artifícios para acelerar o tempo de cálculo: maximizar critérios de interpolação para a precisão desejada; diminuir o número de reflexões; reduzir o comprimento da reflexão; diminuir o raio máximo; aumentar a tolerância de cálculo.

Como forma de reduzir o tempo de cálculo para o processamento de áreas muito extensas, a exemplo do mapeamento sonoro da cidade do Natal/RN, sem perder a qualidade da representação, foram feitos alguns estudos-testes utilizando a mesma área anterior. Tais como:

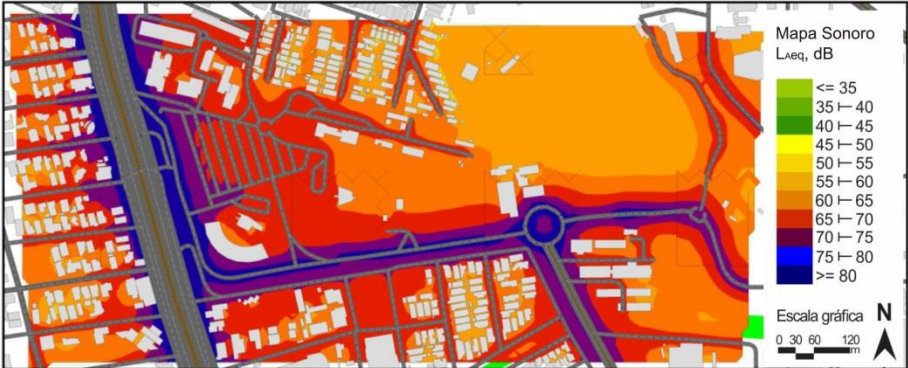

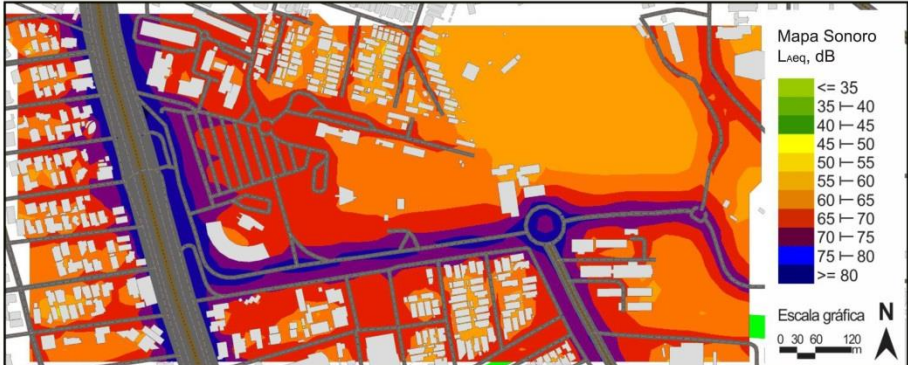

- Como foi realizado por Danilo Souza (2012), foi testado à diminuição do número de reflexões de três para uma reflexão, resultando em redução no tempo de processamento;
- Conforme realizado também para a cidade de Bologna, Itália (FATTORI; GARAI, 2009), diminuiu-se o raio de busca máximo de 5.000m para 1.000m.

Dessa forma, a simulação com Tabela 17A, com o uso de 1 reflexão, apresentou comportamento semelhante a Tabela 17B que foi realizada com 3 reflexões, porém o tempo de cálculo caiu parabolicamente.

As tabelas 17B e 17C apresentaram uma pequena descontinuidade ao longo da fonte linear devido ao raio de busca de 1.000m, porém ao inserir a malha de cálculo de 10x10 (Tabela 17D), tal linearidade foi corrigida e teve-se um melhor resultado, ainda com o tempo de cálculo adequado.

Como resultado, a espacialização apresentou representatividade com malha de cálculo 20x20m, raio máximo de 1.000m e uma reflexão. Aplicando esses parâmetros, foi realizada a calibragem do modelo no *software*, a partir da comparação entre os dados medidos *in loco* e os dados simulados com tais parâmetros.

Tabela 17 —Teste com diferentes parâmetros no SoundPLAN® .

Dados	Mapas acústicos
<p>(A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 20x20m ● Reflexões: 1 ● Raio Máx.: 5.000m ● Tempo: 0h34 	 <p>Mapa Sonoro L_{aeq}, dB</p> <ul style="list-style-type: none"> <= 35 35 – 40 40 – 45 45 – 50 50 – 55 55 – 60 60 – 65 65 – 70 70 – 75 75 – 80 >= 80 <p>Escala gráfica N 0 30 60 120 m</p>
<p>(B)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 20x20 ● Reflexões: 3 ● Raio Máx.: 1.000m ● Tempo: 5h58 	 <p>Mapa Sonoro L_{aeq}, dB</p> <ul style="list-style-type: none"> <= 35 35 – 40 40 – 45 45 – 50 50 – 55 55 – 60 60 – 65 65 – 70 70 – 75 75 – 80 >= 80 <p>Escala gráfica N 0 30 60 120 m</p>
<p>(C)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 20x20m ● Reflexões: 1 ● Raio Máx.: 1.000m ● Tempo: 0h19 	 <p>Mapa Sonoro L_{aeq}, dB</p> <ul style="list-style-type: none"> <= 35 35 – 40 40 – 45 45 – 50 50 – 55 55 – 60 60 – 65 65 – 70 70 – 75 75 – 80 >= 80 <p>Escala gráfica N 0 30 60 120 m</p>
<p>(D)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Grid: 10x10m ● Reflexões: 1 ● Raio Máx.: 1.000m ● Tempo: 1h08 	 <p>Mapa Sonoro L_{aeq}, dB</p> <ul style="list-style-type: none"> <= 35 35 – 40 40 – 45 45 – 50 50 – 55 55 – 60 60 – 65 65 – 70 70 – 75 75 – 80 >= 80 <p>Escala gráfica N 0 30 60 120 m</p>

Fonte: elaborado pela autora no software SoundPLAN®, 2017.

4.3 CALIBRAGEM DO MODELO

Segundo Licitra e Memoli (2008), para o meio urbano a diferença ideal entre os dados medidos *in loco* e os simulados não deve ultrapassar $\pm 4,6\text{dB}$, em 95% de confiança. Entretanto, a pesquisa desenvolvida por Francisco Simón et al. (2008) e Francisco Pinto (2004) determina que a diferença máxima entre os dados medidos *in loco* e os mapas acústicos deve ser $\pm 2\text{dB}$. Para ISO 1996-2, a incerteza para medições ambientais deve ser de $\pm 2\text{dB}$ (ISO, 2007). Com base nesses dados, realizou-se a aferição do modelo, comparando os valores medidos *in loco* e os simulados (Tabela 18).

Ao analisar os resultados medidos *in loco* e simulados percebeu-se que os dados encontram-se calibrados por possuir diferença máxima entre os dados de $\pm 2\text{dB}$, para o turno matutino e vespertino, em 95% dos dados. Essa diferença ocorre devido às incertezas experimentais, sendo estas:

- Período temporal dos dados: devido à falta de pessoal suficiente para coleta de campo em toda área objeto de estudo, parte dos mapas físicos foram elaborados a partir dos dados do *Googlemaps®*, *Google street view®*, *Googleearth®* do ano 2016, porém áreas menos adensadas e não atualizadas foram utilizadas dados de anos anteriores (a partir de 2012);
- Dados de entrada simplificados: devido à extensão da área objeto de estudo, foram realizadas algumas simplificações na modelagem, desconsiderando alguns elementos, a exemplo dos muros dos lotes;
- Formas em bloco: o *software* considera todas as edificações como um bloco, sendo a elevação a partir do limite das edificações nos lotes, desconsiderando as aberturas como varandas, garagens, marquises dentre outros elementos.

Tabela 18 – Dados medidos e simulados .

Pontos de medição	Dados medidos		Dados simulados	
	7-8h	17-18h	7-8h	17-18h
P18 Av. Roberto Freire	76	73	74	75
P20 Av. Roberto Freire	75	76	75	77
P22 Rua João Mota	60	66	59	63
P23 Dirce Coutinho	69	65	66	68
P25 Av Roberto Freire	70	70	74	72
P27 Av. Rota do sol	70	70	73	72
P28 Av. Via Costeira	74	71	73	74
P29 Av. Presidente Medice	68	76	72	77
P31 BR 101 Norte ⁸	75	69	75	69
P32 Av. Tomaz Landim	73	72	77	75
P33 Av. Lima e Silva	71	66	74	74
P35 Av. Napoleão Laureano	69	71	70	70
P36 Av. Joao Medeiros Filho	76	75	73	73
P37 Av. XAVANTES	70	70	71	70
P38. BR 101 Sul	76	70	74	75
P39 Av. das Alagoas	70	77	74	75
P40 Av. Nascimento de castro	68	67	71	73
P41 Amintas Barros	69	68	72	72
P42 Av. Rui Barbosa	73	73	72	72
P43 Av. Antônio Basílio	70	68	72	71
P45 Av. Interventor mario Camara	73	70	74	74
P46 Av. Cap. Mor Gouveia	70	68	76	75
P48 Av. Alexandrino	69	70	70	71
P49 Av. Presidente Bandeira	70	73	75	76
P51 Av. Rio Branco	73	73	76	76
P52 Av. Rua do motor	61	64	65	65
P55 Av. Sylvio Pedrosa	68	71	72	74
P56 Av. João XXIII	70	69	66	67
P175 Rua das Exatas	59	61	62	64
P179 Rua das Humanidades	61	62	62	65
P182 Rua da Saúde	63	64	64	65
P167 Rua da Reitoria	60	67	62	65
P191 Rua Cel. João Medeiros	67	67	70	70

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

⁸ Define-se BR 101 Norte a BR localizada na Região Administrativa Norte. E BR 101 Sul a localizada na Região Administrativa Sul do município do Natal/RN.

4.4 TIPIFICAÇÃO DO FLUXO VEICULAR DAS VIAS

Após a coleta dos pontos de medição, foi estabelecido um planejamento que consta de cinco etapas: montagem do banco de dados das variáveis correlacionadas ao fluxo veicular e características físicas (Apêndice C); análise exploratória e descritiva; análise estatística inferencial (teste de hipóteses) dos dados e, por fim, os mapas: tipificação das vias arteriais e coletoras, e tipificação das vias locais.

4.4.1 Tipificação do fluxo veicular das vias arteriais e coletoras

O objetivo do estudo de tipificação do fluxo veicular das vias arteriais e coletoras foi prever grupos de vias com características comuns, devido à falta de dados do fluxo veicular para todas as vias do município de Natal/RN. Para isso, foi utilizado o banco de dados dos pontos de medição descritos anteriormente.

No estudo estatístico, analisou-se variáveis contínuas que possam ser correlacionadas com o fluxo veicular. Para identificar a variável que melhor correlaciona-se com fluxo veicular (7-8h e 17-18h), foi inserido o banco de dados em 172 pontos de medição⁹ no aplicativo *EXCEL*® e em cada ponto foram coletados os dados de:

- Largura física da via: através do mapa em *autocad*® fornecido pela SEMURB, foi verificado a largura de cada via, retirando do cálculo os canteiros;
- Comprimento físico da via: através do mapa em *autocad*® fornecido pela SEMURB, foi verificado o comprimento de cada via;

Além dessas duas variáveis foi aplicado o estudo de sintaxe espacial, e analisadas outras variáveis decorrente desse estudo (medidas sintáticas). A sintaxe espacial é um método que, segundo Hillier (1996) inter-relaciona a estrutura da malha urbana e as densidades de movimento ao longo de linhas,

⁹ Foram consideradas todas as vias locais do banco de dados (193 pontos), excetuando-se 18 pontos da UFRN, 2 pontos do nível de pressão sonora na área verde do parque das dunas e 1 ponto do centro administrativo.

que determinam como os espaços estão conectados através de uma relação matematicamente previsível (HAMMER, 1999).

Nesse estudo, foi inserido o mapa de vias do município de Natal/RN (DONEGAN, 2016) no programa no QGis® e utilizado o plugin do *dephtmap*® com a finalidade de gerar as medidas sintáticas, que quantificam propriedades abstratas de natureza topológica. Cada dado foi obtido através da verificação apenas no segmento que compreende cada ponto de medição. Foram selecionados os padrões de análise da sintaxe espacial fornecidas pelo programa, e extraídas apenas as que possuíam maiores correlações com o fluxo veicular, e foram conceituadas conforme Lucy Donegan (2016) e Edja Trigueiro e Lucy Donegan (2015), sendo:

- CH — choice/escolha: se refere ao potencial que tem um espaço de servir de intermediação entre pares de espaços que representam origens-destinos;
- NACH — choice normalizado: a normalização choice (NACH) foi processada em mapas angulares de segmentos (ASA), para comparar os sistemas de tamanhos diferentes;
- axCONN — conectividade axial: quantidade de eixos a qual cada eixo se conecta, sendo quanto maior o dado, mais longa tende a ser a via;
- INT — integração: medida sintática mais universalmente utilizada, expressa a centralidade de cada espaço em relação a todos os outros, de modo que espaços menos profundos (a partir dos quais é mais fácil acessar todos os outros com menos mudanças de direção) são mais integrados;
- TD — profundidade total: refere-se ao processo de mover-se, mudar de um lugar para o outro.

4.4.1.1 *Análise de Correlação estatística*

No programa *IBM SPSS Statistics*® versão 20, importou-se o banco de dados do *EXCEL*®, com a finalidade de verificar a correlação e o nível de significância através do valor-p, do fluxo veicular com as demais variáveis

coletadas, conforme consta na Tabela 19. As informações inseridas em cada ponto de medição encontram-se Apêndice C.

Tabela 19 – Correlação entre fluxo veicular com as variáveis analisadas.

VARIÁVEL	Todas as vias		Vias arteriais		Vias coletoras		Vias locais	
	Correl	Sig.	Correl	Sig.	Correl	Sig.	Correl	Sig.
Largura da via (sem canteiros)	0,79	< 0,05	0,82	< 0,05	0,41	0,010	0,31	0,003
Comprimento da via	0,75	< 0,05	0,47	0,002	0,19	0,252	0,27	0,015
NACH (<i>Normalized angular choice</i>)	0,62	< 0,05	0,55	< 0,05	0,20	0,248	0,16	0,147
CH (<i>choice</i>)	0,61	< 0,05	0,49	0,001	0,10	0,546	0,04	0,750
axCONN (conectividade axial)	0,55	< 0,05	0,38	0,013	0,05	0,786	0,36	0,001
INT (<i>Normalized angular integration</i>)	0,53	< 0,05	0,40	0,008	0,24	0,15	0,16	0,137
TD (profundidade total)	-0,50	< 0,05	-0,39	0,011	-0,25	0,138	-0,81	0,099

Correl: Correlação entre fluxo veicular com as variáveis estudadas

Sig.: Significância através do valor-p

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na Tabela 19, observa-se que a análise para *todas as vias* foi significativa em todas as variáveis de interesse através da correlação¹⁰ e significância do valor-p¹¹.

Com os dados obtidos, foi gerada a correlação, com o intuito de testar a hipótese de que o mapeamento sonoro possui alta correlação com os dados coletados das vias. Para isso foram relacionados os dados de comprimento da via e fluxo veicular, obtendo-se correlação forte positiva. A variável largura de via não foi utilizada para estudo de vias locais, já que estas possuem valores próximos entre elas e não existe um banco de dados sobre a largura de todas as vias do município do Natal – tornando o comprimento de via uma variável representativa e com melhor exequibilidade na coleta das informações. Em seguida, foram geradas as estatísticas exploratórias da variável comprimento da via (Tabela 20).

¹⁰ Conforme FILHO (1999), é considerado: Correlação inexistente ($R=0$), Fraca ($R<0.5$), Média ($0.5<R<0.75$), Forte ($R>0.75$) e Perfeita ($R=1$ ou -1 , positivamente ou negativamente)

¹¹ Valor significativo quando valor-p menor que 5% ($<0,05$), correspondente a 95% de confiança

Tabela 20 – Estatística exploratória da variável comprimento da via.

Estatística	Comprimento de todas as vias (metros)	Comprimento das vias locais (metros)
Mínimo	64	64
Máximo	11.772	2.529
Média	2.450	617
1º quartil	452	303
2º quartil	1.149	457
3º quartil	3.466	773
10º percentil	201	146
90º percentil	6.656	1.233
Coeficiente de variação	1,17	0,81
Desvio Interquartilico	55	22
Assimetria	1,7	1,8

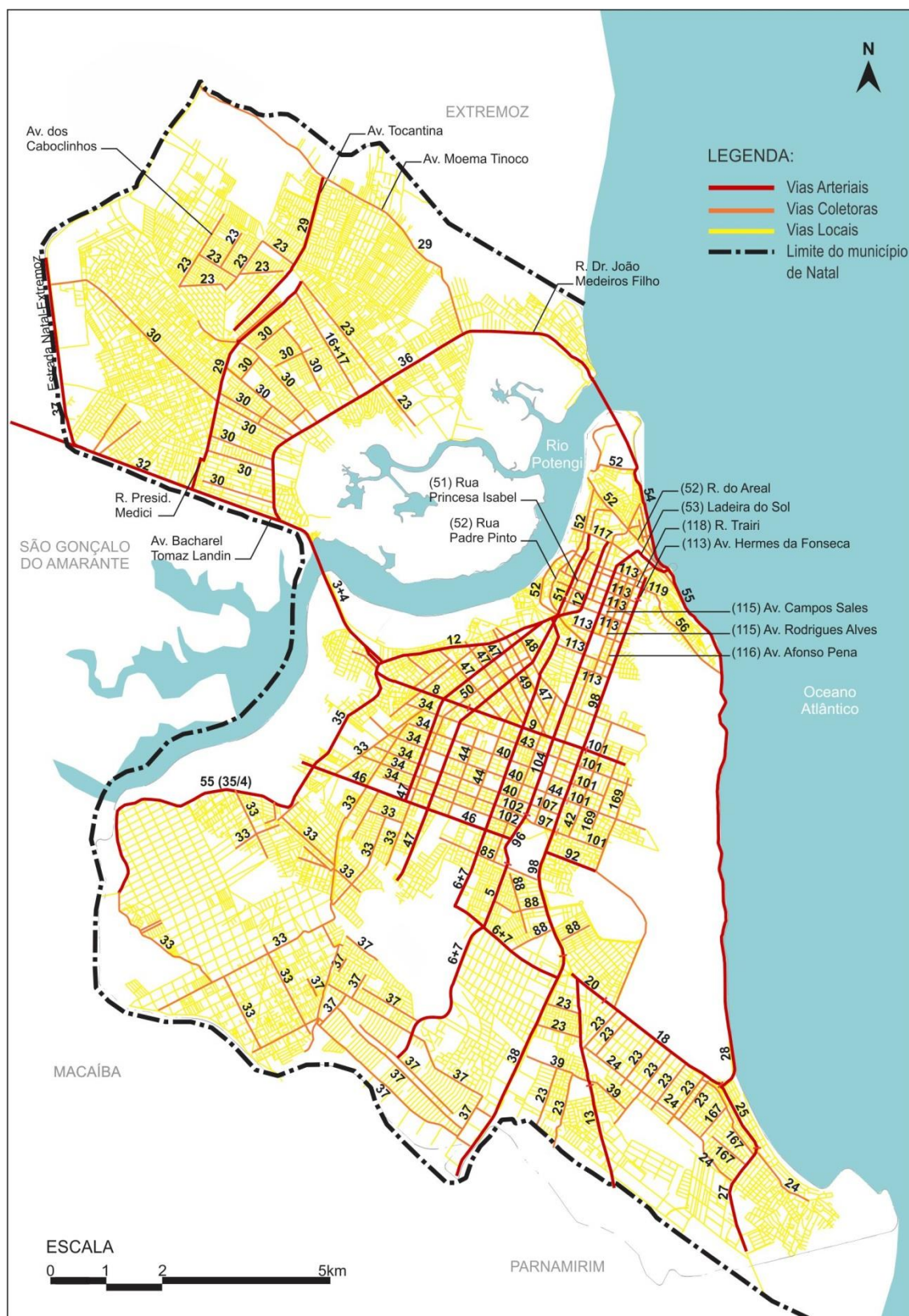
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Observa-se pela tabela 20, que os dados para comprimento de todas as vias possuem 75% (3º quartil), abaixo de 3.466m e 25% das observações estão acima de 3.466m. Em relação à variável via local, 75% das observações estão abaixo de 773m e 25% das observações estão acima de 773m. De acordo com o coeficiente de variação, os dados relativos ao comprimento de via local são mais homogêneos que os dados de comprimento de todas as vias.

Neste estudo, verificou-se que os dados das vias coletadas poderiam ser extrapoladas para as vias que não havia coleta de dados, através das características físicas semelhantes, como seu comprimento. Assim, nas vias que não possuíam dados, foi inserido o número correspondente ao ponto de medição coletadas *in loco*. Logo, todas as vias arteriais e coletoras foram tipificadas em grupos comuns (Figura 30).

Para o estudo das vias locais, foi realizado um estudo estatístico mais específico destas vias, que encontra-se a seguir.

Figura 30 – Tipificação de vias coletoras e arteriais.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

4.4.2 Tipificação do fluxo veicular das vias locais

O volume veicular não foi coletado em todas as vias locais do município de Natal/RN, sendo necessário um estudo estatístico para estimar os demais dados. Delimitou-se uma área piloto (bairros de Capim Macio e Ponta Negra em 14 pontos de medição) os dados de volume veicular foram inseridos no *software* e simulados os níveis de pressão sonora nos receptores pontuais (PINTO; ARAÚJO, 2012).

Quanto à média aritmética:

Inicialmente, estabeleceu-se como hipótese que a média aritmética do volume veicular de todas as vias locais medidas *in loco*, substituiria os dados simulados para as demais vias. Para isso, também foi estudado a diferença entre o valor mínimo e máximo com a finalidade de averiguar os limites entre os dados. Dessa forma foram considerados os seguintes casos:

- a) Simulação no ano 2016: representação sonora com os valores de tráfego veicular coletados *in loco* no ano 2012 e estimados para o ano 2016;
- b) Simulação pela média aritmética: fluxo veicular obtido na cidade de Natal/RN, a partir dos dados da média aritmética nos 83 pontos de medição das vias locais (matutino: 113 veículos leves e 11 pesados; vespertino: 85 veículos leves e 05 pesados);
- c) Simulação pelos dados mínimos: as vias locais foram representadas pelo dado obtido na via de menor fluxo veicular das vias medidas *in loco* (matutino e vespertino: 6 veículos leves e 1 pesado);
- d) Simulação pelos dados máximos: as vias locais foram representadas pelo dado obtido na via de maior fluxo veicular das vias medidas *in loco* (matutino: 578 veículos leves e 1 pesado; vespertino: 745 veículos leves e 10 pesados).

Os receptores pontuais (SPS) foram posicionados no *software* nos mesmos pontos nos quais se realizaram as medições dos níveis de pressão sonora (L_{Aeq} em dB). A Tabela 21 apresenta os dados de níveis de pressão sonora medidos *in loco* e simulados.

Tabela 21 – Níveis de pressão sonora medidos *in loco* e simulados.

Rua	Simulação pelo tráfego mínimo		Simulação pelo tráfego máximo		Simulação pela média aritmética		Simulação ano 2016	
	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino
	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB
Rua João Machado	54	54	68	67	65	62	57	55
Rua João Ferreira de Melo	56	56	65	65	63	64	60	58
Av. Gov. José Varela	58	58	66	66	61	63	63	63
Rua Coronel Milton Freire	61	61	67	66	63	64	61	62
Rua Ismael F da Silva	56	56	66	67	61	63	61	59
Rua Ind. João Mota	57	57	66	67	64	62	64	61
Rua presb. Porfiro Gomes da Silva	54	54	66	66	61	63	60	58
Rua Ilce Marinho	60	59	68	69	64	65	61	63
Rua Luciano Bahia	56	56	68	67	62	64	59	58
Rua Alcinto D Oliveira	54	54	67	66	61	63	62	63
Rua João Rodrigues da Silva	54	54	67	67	62	63	57	56
Rua Helio Galvão	57	58	68	67	63	64	59	60
Rua Pedro F Filho	62	62	66	66	63	64	64	63
Rua Praia Areia Branca	55	55	67	68	62	63	70	64

Fonte: elaborado pela autora no software SoundPLAN®, 2017.

A partir dos dados gerados, foi realizado o estudo exploratório das estatísticas descritivas dos dados de níveis de pressão sonora para os turnos matutino e vespertino, conforme tabela 22:

Tabela 22 – Estatísticas descritivas.

(A) Turno Matutino

	Média do NPS	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Medidos <i>in loco</i>	60	4,27	7,1
Simulação ano 2016	61	3,34	5,5
Simulação pelo tráfego mínimo	57	2,67	4,7
Simulação pela média aritmética	62	1,29	2,1
Simulação pelo tráfego máximo	67	0,97	1,5

(B) Vespertino

	Média do NPS	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Medidos <i>in loco</i>	65	5,15	7,9
Simulação ano 2016	65	7,18	11,0
Simulação pelo tráfego mínimo	59	10,33	17,5
Simulação pela média aritmética	64	7,26	11,3
Simulação pelo tráfego máximo	67	5,94	8,9

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Utilizando o teste *t-Student*, foi realizado um estudo estatístico inferencial para testar cientificamente as hipóteses abaixo discriminadas:

- H_0 : Não significativo ($>4,6\text{dB}$) existe diferença entre os dados reais comparados;
- H_{1A} : Significativo. Não existe diferença entre os dados comparados. Podendo ser: alta precisão com desvio padrão máximo de $\pm 2\text{dB}$;
- H_{1B} : Significativo. Não existe diferença entre os dados comparados. Podendo ser: média precisão com desvio padrão máximo de $\pm 4,6\text{dB}$.

As hipóteses científicas também foram transformadas em hipóteses estatísticas, utilizando o limite máximo para rejeição da hipótese em 0,05 ($\alpha=5\%$). Essa hipótese de nulidade é rejeitada caso o valor-p seja inferior a 5%.

Tabela 23 — Teste *t-Student*.

(A) Turno Matutino

Ruído		Diferença média	Intervalo de confiança da diferença (95%)		t	Valor-p
			Inferior	Superior		
Par 1	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego mínimo	4,571	2,403	6,740	4,554	0,001
Par 2	Simulação ano 2016 e Simulação pela média aritmética	-1,214	-3,400	0,972	-1,200	0,252
Par 3	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego máximo	-5,500	-7,657	-3,343	-5,508	0,000
Par 4	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pela classe	-4,143	-6,428	-1,857	-3,916	0,002
Par 5	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pela média aritmética	-5,786	-7,291	-4,280	-8,304	0,000
Par 6	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pelo tráfego máximo	-10,071	-11,743	-8,400	-13,018	0,000
Par 7	Simulação pela média aritmética e Simulação pelo tráfego máximo	-4,286	-5,051	-3,520	-12,093	0,000

(B) Vespertino

Ruído		Diferença média	Intervalo de confiança da diferença (95%)		t	Valor-p
			Inferior	Superior		
Par 1	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego mínimo	3,500	1,968	5,032	4,936	0,000
Par 2	Simulação ano 2016 e Simulação pela média aritmética	-3,143	-4,742	-1,544	-4,246	0,001
Par 3	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego máximo	-6,500	-8,191	-4,809	-8,304	0,000
Par 4	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pela classe	-3,214	-4,834	-1,594	-4,286	0,001
Par 5	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pela média aritmética	-6,643	-7,936	-5,350	-11,097	0,000
Par 6	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pelo tráfego máximo	-10,000	-11,633	-8,367	-13,229	0,000
Par 7	Simulação pela média aritmética e Simulação pelo tráfego máximo	-3,357	-4,059	-2,655	-10,332	0,000

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A partir da diferença média das estatísticas inferenciais dos testes de hipótese, observa-se quais os dados que possuem confiabilidade no desvio padrão conforme a literatura, para o turno matutino e vespertino (Tabela 24).

Tabela 24 – Resultado do Teste de hipótese.

(A) Turno Matutino

	Simulação ano 2016	Simulação pelo tráfego mínimo	Simulação pela média aritmética
Simulação pelo tráfego mínimo	≤4,6dB		
Simulação pela média aritmética	≤2dB	Não significativo (>4,6dB)	
Simulação pelo tráfego máximo	Não significativo (>4,6dB)	Não significativo (>4,6dB)	≤4,6dB

(B) Turno Vespertino

	Simulação ano 2016	Simulação pelo tráfego mínimo	Simulação pela média aritmética
Simulação pelo tráfego mínimo	≤4,6dB		
Simulação pela média aritmética	≤4,6dB	Não significativo (>4,6dB)	
Simulação pelo tráfego máximo	Não significativo (>4,6dB)	Não significativo (>4,6dB)	≤4,6dB

Fonte: elaborado pela autora, 2017

Dessa forma, a partir da diferença média das estatísticas inferenciais dos testes de hipótese, observa-se a média aritmética e os dados simulados, são significativos, porém para o turno vespertino, a precisão é de $\pm 4,6\text{dB}$. Em busca de maior precisão dos dados (menor que $\pm 2\text{dB}$), o item a seguir trata da criação de classes de vias com o objetivo de levantar dados que possuam maior representatividade.

Quanto à criação de classes:

As vias locais foram agrupadas em classes conforme características comuns. A partir das estatísticas exploratórias da variável comprimento da via foram criadas as classes para vias locais e separadas por tipo de pavimentação: a) asfalto e b) paralelepípedo e outros, já que mudança do pavimento ocasiona mudança do fluxo veicular.

A partir da divisão de quartis do comprimento de via, foi montado um banco de dados apenas com os pontos de medição de vias locais classificadas pelo comprimento (em metros) através da divisão dos quartis como: vias curtas (64|--146m), vias médias (146|--773m) e vias longas (773|--2529m), perfazendo um total de 83 pontos de medição¹². Tais classes foram separadas por tipo de pavimentação, e em cada classe foram levantados os dados de fluxo veicular matutino, vespertino e médio, separado por tipo veicular leve e pesado (Tabela 25).

Tabela 25 — Distribuição do fluxo veicular, segundo as classes de comprimento da via (m) e tipo de pavimentação.

(A) Fluxo veicular na via local, com a pavimentação do tipo asfalto

Classe da via	comprimento (m)	Fluxo de veículos matutino- pico			Fluxo de veículos vespertino- pico			Amostra	
		Leve	Pesado	Total	Leve	Pesado	Total	Valor absoluto	%
Via curta	64 --146	67	1	68	80	1	81	4	12,5
Via média	146 --773	122	16	138	130	5	135	18	56,3
Via longa	773 --2529	304	15	319	339	6	345	10	31,3
Total		165	10	175	183	4	187	32	100

¹² Foram considerados todos as vias locais do banco de dados (104 pontos), excetuando-se as vias locais atípicas, correspondente a: Vias da Universidade federal do Rio Grande do Norte (18 pontos), Centro administrativo (1 ponto) e parque das dunas (2 pontos).

(B) Fluxo veicular na via local, com a pavimentação do tipo paralelepípedo e outros

Classe da via	Classe comprimento (m)	Fluxo de veículos matutino- pico			Fluxo de veículos vespertino- pico			Amostra	
		Leve	Pesado	Total	Leve	Pesado	Total	Valor absoluto	%
Via curta	64 --146	18	3	21	64	1	65	5	9,8
Via média	146 --773	94	15	109	77	2	79	35	68,6
Via longa	773 --2529	76	7	83	114	5	119	11	21,6
Total		63	8	71	85	2	87	51	100

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Após a separação das classes de comprimento, se fez necessário inserir os dados levantados do fluxo veicular no *software* para obter os dados de níveis de pressão sonora simulados, com a finalidade de avaliar estatisticamente a representatividade dos resultados. Dessa forma foram considerados os seguintes casos:

- e) Simulada, ano 2016: representação sonora com os valores de tráfego veicular coletados *in loco* no ano 2012 e estimados para o ano 2016;
- f) Simulado pela classe: a partir do banco de dados do ano 2016, as vias locais foram representadas pelo fluxo veicular conforme a classe de cada via separadamente, de acordo com o seu comprimento de via e tipo de pavimentação.
- g) Simulação pelos dados mínimos: as vias locais foram representadas pelo dado obtido na via de menor fluxo veicular das vias medidas *in loco* (matutino e vespertino: 6 veículos leves e 1 pesado);
- h) Simulação pelos dados máximos: as vias locais foram representadas pelo dado obtido na via de maior fluxo veicular das vias medidas *in loco* (matutino: 578 veículos leves e 1 pesado; vespertino: 745 veículos leves e 10 pesados).

Os receptores pontuais (SPS) foram posicionados no *software* nos mesmos pontos nos quais se realizaram as medições dos níveis de pressão sonora (L_{Aeq} em dB). A Tabela 26 apresenta os dados de níveis de pressão sonora medidos *in loco* e simulados.

Tabela 26 — Níveis de Pressão Sonoros medidos e simulados.

Rua	Simulação pelo tráfego mínimo		Simulação pelo tráfego máximo		Simulação ano 2016		Simulação pela classe	
	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino	Matutino	Vespertino
	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB	L _{Aeq} dB
Rua João Machado	54	54	68	67	57	55	57	55
Rua João Ferreira de Melo	56	56	65	65	60	58	60	57
Av. Gov. José Varela	58	58	66	66	63	63	63	63
Rua Coronel Milton Freire	61	61	67	66	61	62	61	61
Rua Ismael F da Silva	56	56	66	67	61	59	65	63
Rua Ind. João Mota	57	57	66	67	64	61	61	59
Rua presb. Porfiro Gomes da Silva	54	54	66	66	60	58	60	58
Rua Ilce Marinho	60	59	68	69	61	63	60	61
Rua Luciano Bahia	56	56	68	67	59	58	59	58
Rua Alcinto D Oliveira	54	54	67	66	62	63	62	63
Rua João Rodrigues da Silva	54	54	67	67	57	56	55	56
Rua Helio Galvão	57	58	68	67	59	60	59	60
Rua Pedro F Filho	62	62	66	66	64	63	64	63
Rua Praia Areia Branca. Obs.: Via de ônibus	55	55	67	68	70	64	70	64

Fonte: elaborado pela autora no *software* SoundPLAN®, 2017.

A partir dos dados gerados, foi realizado o estudo exploratório das estatísticas descritivas dos dados de níveis de pressão sonora para os turnos matutino e vespertino, conforme tabela 27:

Tabela 27 — Estatísticas descritivas.**(A)** Turno Matutino

	Média do NPS	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Simulação ano 2016	61	3,34	5,5
Simulação pelo tráfego mínimo	57	2,67	4,7
Simulação pelo tráfego máximo	67	0,97	1,5
Simulação pela classe	61	3,42	5,61

(B) Vespertino

	Média do NPS	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Simulação ano 2016	65	7,18	11,0
Simulação pelo tráfego mínimo	59	10,33	17,5
Simulação pelo tráfego máximo	67	5,94	8,9
Simulação pela classe	60	2,76	4,60

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Utilizando o teste *t-Student*, foi realizado um estudo estatístico inferencial para testar cientificamente as hipóteses abaixo discriminadas:

- H_0 : Não significativo ($>4,6\text{dB}$) existe diferença entre os dados reais comparados;
- H_{1A} : Significativo. Não existe diferença entre os dados comparados. Podendo ser: alta precisão com desvio padrão máximo de $\pm 2\text{dB}$;
- H_{1B} : Significativo. Não existe diferença entre os dados comparados. Podendo ser: média precisão com desvio padrão máximo de $\pm 4,6\text{dB}$.

As hipóteses científicas também foram transformadas em hipóteses estatísticas, utilizando o limite máximo para rejeição da hipótese em 0,05 ($\alpha=5\%$). Essa hipótese de nulidade é rejeitada caso o valor-p seja inferior a 5%.

Tabela 28 — Teste *t-Student*.

(A) Turno Matutino

Relações		Diferença média	Intervalo de confiança da diferença (95%)		t	Valor-p
			Inferior	Superior		
Par 8	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego mínimo	4,571	2,403	6,740	4,554	0,001
Par 9	Simulação ano 2016 e Simulação pela classe	0,429	-0,347	1,204	1,194	0,254
Par 10	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego máximo	-5,500	-7,657	-3,343	-5,508	0,000
Par 11	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pela classe	-4,143	-6,428	-1,857	-3,916	0,002
Par 12	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pelo tráfego máximo	-10,071	-11,743	-8,400	-13,018	0,000
Par 13	Simulação pela classe e Simulação pelo tráfego máximo	-5,929	-8,176	-3,681	-5,699	0,000

(B) Vespertino

		Diferença média	Intervalo de confiança da diferença (95%)		t	Valor-p
			Inferior	Superior		
Par 8	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego mínimo	3,500	1,968	5,032	4,936	0,000
Par 9	Simulação ano 2016 e Simulação pela classe	0,286	-0,446	1,017	0,844	0,414
Par 10	Simulação ano 2016 e Simulação pelo tráfego máximo	-6,500	-8,191	-4,809	-8,304	0,000
Par 11	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pela classe	-3,214	-4,834	-1,594	-4,286	0,001
Par 12	Simulação pelo tráfego mínimo e Simulação pelo tráfego máximo	-10,000	-11,633	-8,367	-13,229	0,000
Par 13	Simulação pela classe e Simulação pelo tráfego máximo	-6,786	-8,437	-5,134	-8,877	0,000

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A partir da diferença média das estatísticas inferenciais dos testes de hipótese, observa-se quais os dados que possuem confiabilidade no desvio padrão conforme a literatura, para o turno matutino e vespertino (Tabela 29).

Tabela 29 — Resultado do Teste de hipótese.

(A) Turno Matutino

	Simulação ano 2016	Simulação pelo tráfego mínimo	Simulação pela classe
Simulação pelo tráfego mínimo	$\leq 4,6\text{dB}$		
Simulação pela classe	$\leq 2\text{dB}$	$\leq 4,6\text{dB}$	
Simulação pelo tráfego máximo	Não significativo ($>4,6\text{dB}$)	Não significativo ($>4,6\text{dB}$)	Não significativo ($>4,6\text{dB}$)

(B) Turno Vespertino

	Simulação ano 2016	Simulação pelo tráfego mínimo	Simulação pela classe
Simulação pelo tráfego mínimo	$\leq 4,6\text{dB}$		
Simulação pela classe	$\leq 2\text{dB}$	$\leq 4,6\text{dB}$	
Simulação pelo tráfego máximo	Não significativo ($>4,6\text{dB}$)	Não significativo ($>4,6\text{dB}$)	Não significativo ($>4,6\text{dB}$)

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Através da análise estatística para vias locais, foi comprovado que os resultados obtidos pela simulação refletem a situação encontrada *in loco* a respeito do ambiente acústico, nos quais os dados simulados e os dados

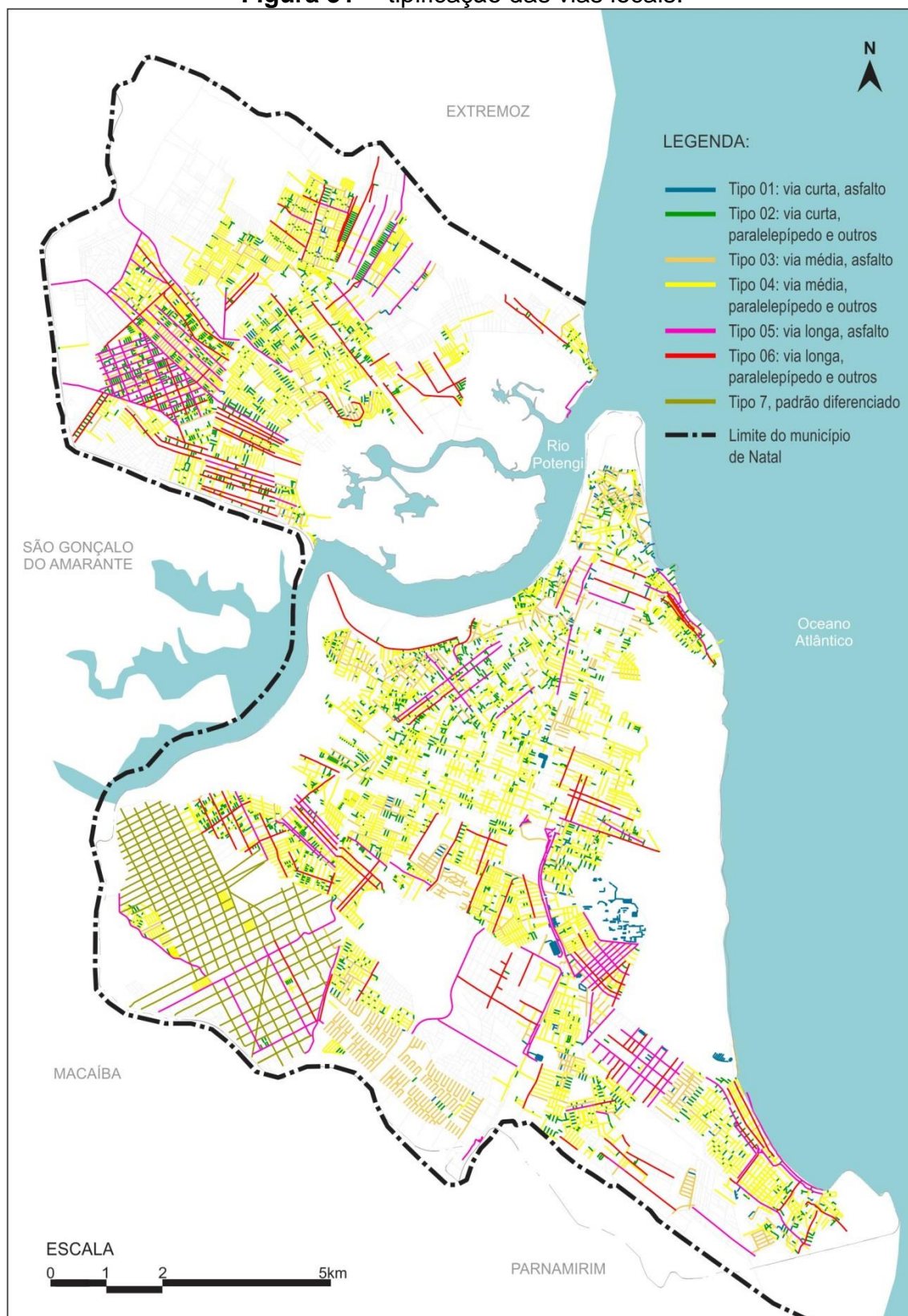
medidos encontram-se calibrados com diferença máxima de $\pm 2\text{dB}$. Constata-se que existe representatividade do estudo da classe (pelo comprimento e tipo de pavimentação da via) com os dados simulados reais por possuir desvio padrão máximo também de $\pm 2\text{dB}$.

Por fim, para todo o município de Natal/RN, nas vias locais foram classificadas estatisticamente em seis tipos de classes:

- Vias curtas: tipo asfalto; e tipo paralelepípedo e outros
- Vias médias: tipo asfalto; e tipo paralelepípedo e outros
- Vias longas: tipo asfalto; e tipo paralelepípedo e outros

Cada tipo possui diferente padrão de fluxo veicular. O mapa de pavimentação do autocad® foi exportado para o QGIS®, separado por comprimento, reexportado para o autocad® no qual foi realizado a revisão manualmente (Figura 31). Além das seis categorias definidas estatisticamente, foi considerada uma área fora do padrão adotado no estudo (tipo 7: padrão diferenciado), representada por um traçado viário de solo natural, presente em parte do bairro Guarapes (Região Administrativa Oeste), que possui vias longas projetadas, com presença de poucas edificações e baixo fluxo veicular, no caso, sendo as vias consideradas com comportamento semelhante aos de vias curtas.

Figura 31 — tipificação das vias locais.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

4.5 TABELA RESUMO DOS DADOS INSERIDOS

Características da área modelada	
Área calculada	167km ² Município de Natal
Quantidade de vias arteriais	16
Quantidade de vias coletoras	122
Parâmetros físico-ambientais	
Gabarito	1 e 2 pav.= 6metros 3 pav.= 10,50m Em seguida, acréscimo de 3m por pavimento
Topografia	Curvas de níveis a cada 5m
Áreas verdes	Acima de 15m de extensão
Pavimentação	Asfalto = 0dB Intertravado/ concreto = 1dB Paralelepípedo = 2dB Solo natural = 3dB
Semáforos	+3dB, conforme normativa RLS 90 (DER..., 1990)
Viadutos	Elevação da via conforme o viaduto
Túneis	Metodologia CENTRE (1980), Apêndice A.
Parâmetros de tráfego e acústicos	
Período dos dados	Abril de 2016
Horários	7-8h e 17-18h
Tipo de veículo	Leves= Carros e caminhonetas Pesados= Motocicletas, caminhões e ônibus
Velocidade	Veículos leves e pesados, respectivamente: Estacionamentos= 20km/h e 15km/h Vias locais= 30km/h e 20km/h Vias coletoras=45km/h e 30km/h Vias arteriais=60km/h e 45km/h BR= 80km/h e 60km/h
Características gerais do modelo	
Software utilizado	SoundPLAN®
Índice calculado	L _{Aeq} (Nível equivalente médio de ruído (Leq) na ponderação A; 7-22h para o mapa acústico) L _{pico} (Nível de Pressão sonora no pico 7-8h e 17-18h para calibragem)
Norma do programa	RLS 90 (DER..., 1990)
Normas complementares	ISO 1996-2/ 2007, ISO 9613-2/ 1996, NBR 10151/2000
Número de reflexões de objetos	1 reflexão
Máximo raio de busca	1.000m
Tolerância de cálculo	0,01dB
Tipos de veículos	Leves= carros e caminhonetes Pesados= motos, ônibus, caminhões
Mapa sonoro horizontal	
Tipo de simulação	Módulo gráfico <i>Grid Noise Map</i>
Altura do mapa acima do solo	1,20m-1,50m (NBR 10151/2000) para receptores pontuais 4,00 (Diretiva europeia, fins de planejamento urbano) para o mapa sonoro horizontal
Malha de cálculo	20x20m
Mapa sonoro de secção	
Tipo de simulação	Módulo gráfico <i>Cross-sectional Noise Map</i>
Altura do mapa acima do solo	Variável a depender da secção. Superior ao maior edifício da secção
Malha de cálculo	10,00m
Dados do receptor pontual	
Tipo de simulação	Módulo gráfico <i>Single Point Receivers sound (SPS)</i>
Altura do receptor	1,20m acima do solo

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

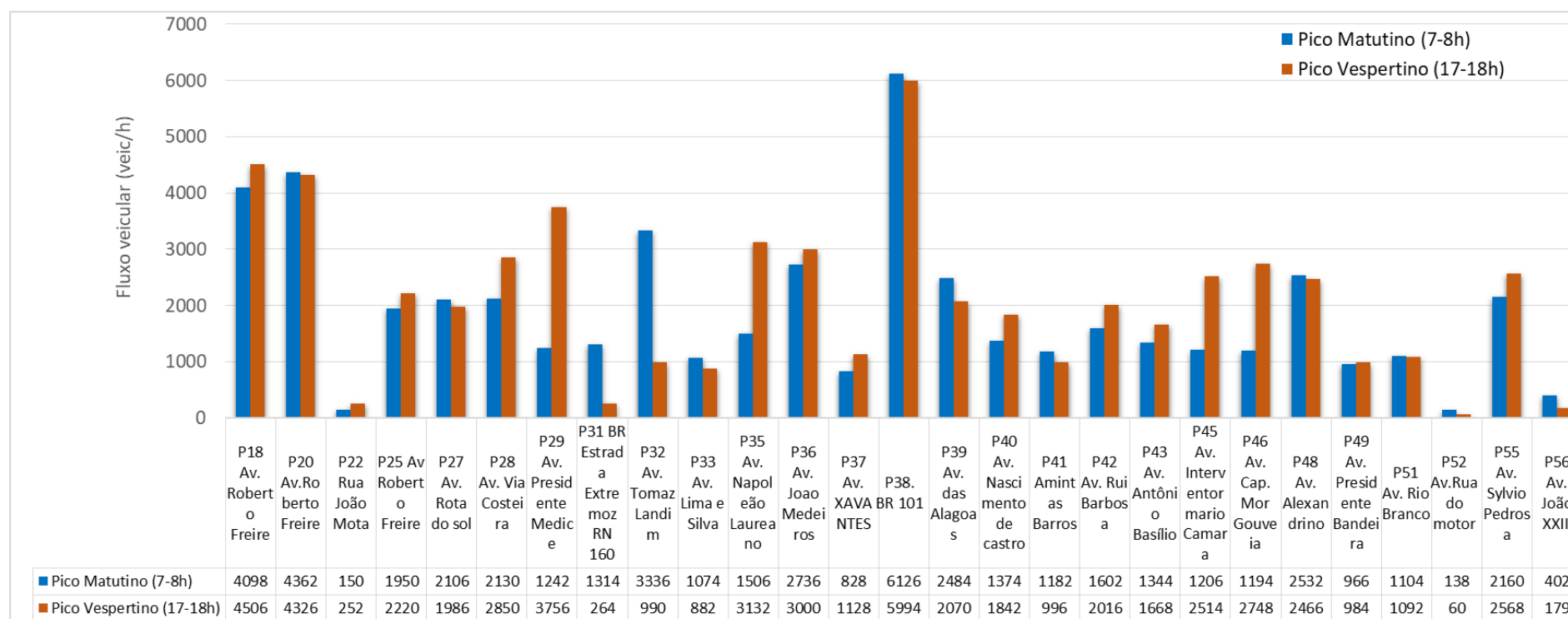
Este capítulo reúne cinco etapas do processo de análise. Inicialmente, aborda-se a caracterização dos pontos medidos, incluindo a contagem de fluxo veicular e os dados acústicos coletados por meio do sonômetro. Em seguida, apresentam-se os mapas sonoros horizontais por Região Administrativa da cidade. A terceira etapa expõe o mapa sonoro completo do município do Natal/RN. A quarta etapa compreende as discussões dos resultados e, por fim, são descritas as diretrizes aplicadas à acústica ambiental para Natal.

5.1 ANÁLISE DOS DADOS MEDIDOS *IN LOCO*

De acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2000), o Nível Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos de uso misto predominantemente residencial é de 55 dB no período diurno e 50 dB no período noturno. No entanto, nas faixas lindeiras das vias arteriais, verifica-se que o uso predominante é o uso comercial e serviço, no qual o Nível Critério de Avaliação (NCA), segundo a referida norma, para ambientes externos é de 60 dB no período diurno e 55 dB no período noturno.

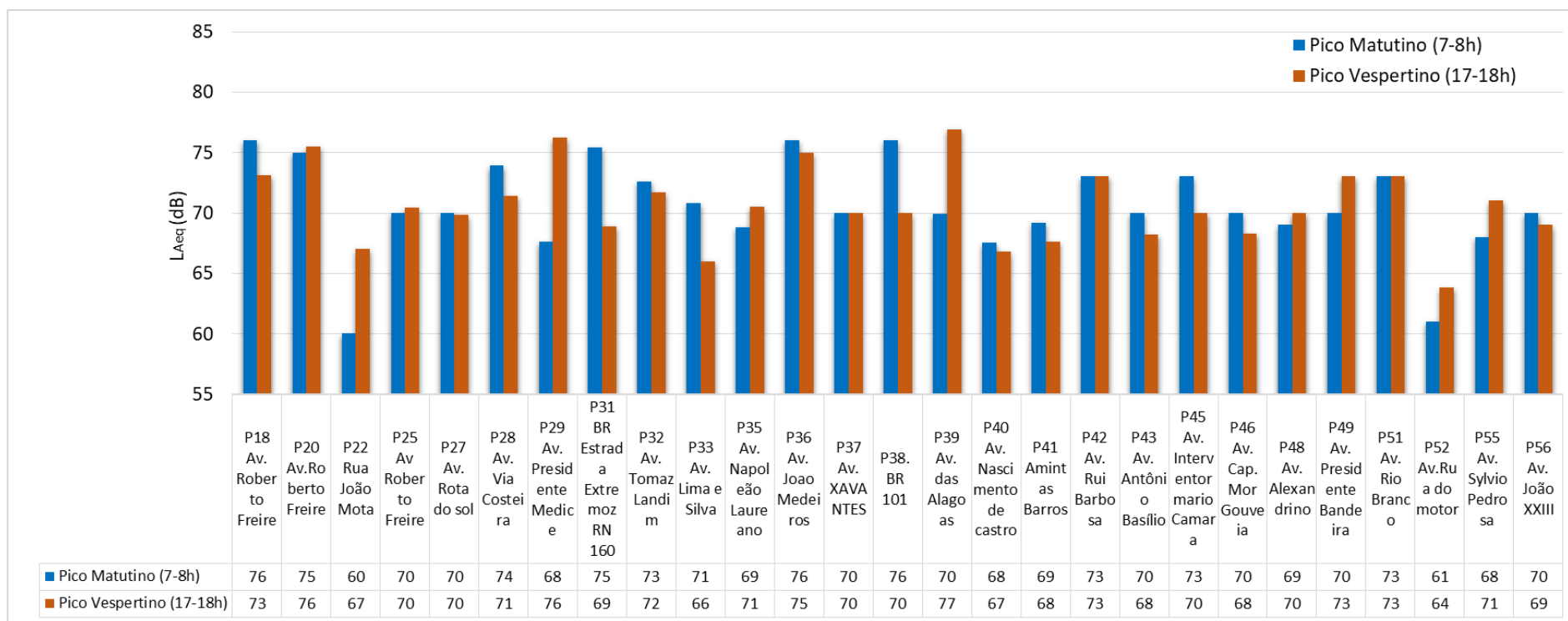
Para o estudo, foram distribuídos em todo município do Natal/RN pontos de medição para as coletas *in loco* de dados de nível de pressão sonora e fluxo veicular no período de abril de 2016. Inicialmente, os pontos de medição foram analisados segundo a contagem de tráfego coletada *in loco* e o nível de pressão sonora necessário para a inserção no programa de simulação e de calibragem, respectivamente. Foram coletados 39 pontos de contagem de tráfego veicular, sendo 27 com medições de níveis sonoros realizados simultaneamente. Neste último, a Figura 32 apresenta o gráfico do fluxo veicular medido *in loco*, e a Figura 33, o gráfico dos níveis de pressão sonora em L_{Aeq} medido *in loco*.

Figura 32 — Gráfico do fluxo veicular (veículos/hora) medido *in loco*, por pontos e tipo de veículos, média nos horários de pico.



Fonte: dados coletados e elaborado pela autora, 2017.

Figura 33 – Gráfico dos níveis de pressão sonora em (L_{Aeq} , dB) medido *in loco*, por ponto de medição, nos horários de pico.



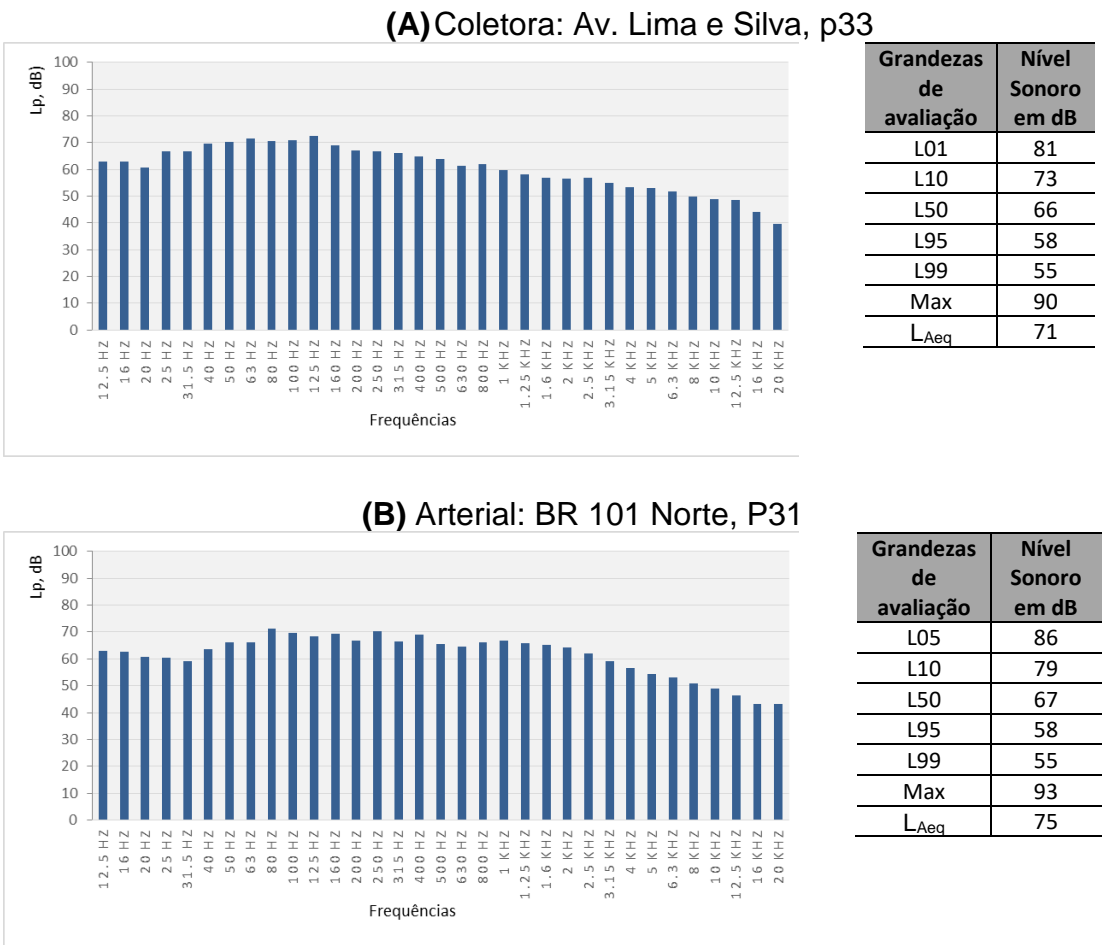
Fonte: dados coletados e elaborado pela autora, 2017.

Em relação à contagem de tráfego veicular (Figura 32), verificou-se que as avenidas arteriais possuem maior fluxo veicular horário com média de 2.165 veículos no pico matutino (7-8h) e 2.490 veículos no pico vespertino (17-18h). As vias coletoras apresentaram fluxo veicular com média de 1.084 veículos no horário de pico matutino (7-8h) e 1.289 veículos no horário de pico vespertino (17-18h). Já para as vias locais, constatou-se que o fluxo veicular apresenta média de 174 veículos no horário de pico matutino (7-8h) e 139 veículos no horário de pico vespertino (17-18h).

Em relação aos níveis de pressão sonora coletados *in loco* (Figura 33), observou-se que as vias arteriais apresentaram índices mais elevados quando comparadas às demais vias da cidade, com dado máximo de 77dB na BR 101 Sul e dado mínimo de 60dB na rua João Mota. Ao analisar os resultados, observou-se que os níveis de pressão sonora resultantes nos 27 pontos de medição *in loco*, nos períodos matutino e vespertino, encontram-se acima dos parâmetros recomendados pela normativa 10151 (ABNT, 2000) para áreas mistas residenciais.

Ao analisar os espectros do nível de pressão sonora medido por frequência em 1/3 de oitavas (Figura 34), pode-se observar que os níveis de pressão sonora apresentam energia com maior concentração nas baixas e médias frequências. Essa energia é encontrada com valores significativos em até 2000Hz. Ao comparar a via coletora e arterial, percebeu-se grande semelhança nos espectros típicos de ruído de tráfego. Com relação as grandezas de avaliação, o nível de pressão sonora equivalente é de 71dB para a via coletora e de 75dB para a BR 101 Norte. Em contrapartida, o ruído de pico (L_{10}) possui maiores variações, sendo 73dB para a via coletora e 79dB para a BR 101 Norte.

Figura 34 – Gráfico do nível de pressão sonora por frequência e grandezas de avaliação.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Após a análise dos pontos coletados *in loco*. A seguir, são apresentados os mapas sonoros simulados no *software* para cada Região Administrativa do município do Natal/RN.

5.2 MAPA SONORO POR REGIÃO ADMINISTRATIVA

O universo de estudo foi modelado como encontrada *in loco*, respeitando os parâmetros físico-ambientais, de tráfego e acústicos para o mês de abril de 2016, conforme descritos nos procedimentos metodológicos. Os mapas sonoros no plano horizontal (*Grid Noise Map*) foram gerados a partir de dados de entrada com altura de 4,00m acima do nível do solo e malha de cálculo de 20mx20m. Já os mapas de ruído em plano vertical (*Cross Sectional Map*), ou seja, os cortes das áreas, foram gerados com malha de cálculo de 10mx10m e altura variável.

Esse item aborda a análise do Mapa Sonoro gerado por Região Administrativa: Norte, Sul, Leste e Oeste. Para isso, considerou-se o nível de pressão sonora diurno no horário das 7h às 22h, a partir da grandeza de nível equivalente médio de ruído (Leq) na ponderação A — L_{Aeq} .

5.2.1 Região Administrativa Norte (RANorte)

A Região Administrativa Norte do município do Natal/RN é composta por sete bairros (Figura 35), onde predominam edificações de um e dois pavimentos e uso misto residencial. Apenas no bairro de Nossa Senhora da Apresentação apresenta presença de uso industrial.

Os bairros de Salinas e Redinha apresentam grande parte de seu território delimitado como zona de proteção, o que favorece a baixa densidade de ocupação identificada nestes. Os bairros de Pajuçara, Potengi, Igapó, Nossa Senhora da Apresentação e Lagoa Azul apresentam territórios com maior ocupação, intensificada nas margens das vias arteriais e coletoras de alto fluxo veicular, como a Av. Dr. João Medeiros Filho, onde predominam nas faixas lindeiras os usos comercial e de serviço.

Para todos os bairros inseridos no perímetro, se aplica estritamente o coeficiente de aproveitamento básico de 1,2 em todos os usos, o que contribui para a horizontalidade na região.

Figura 35 — Mapa da Região Administrativa Norte.



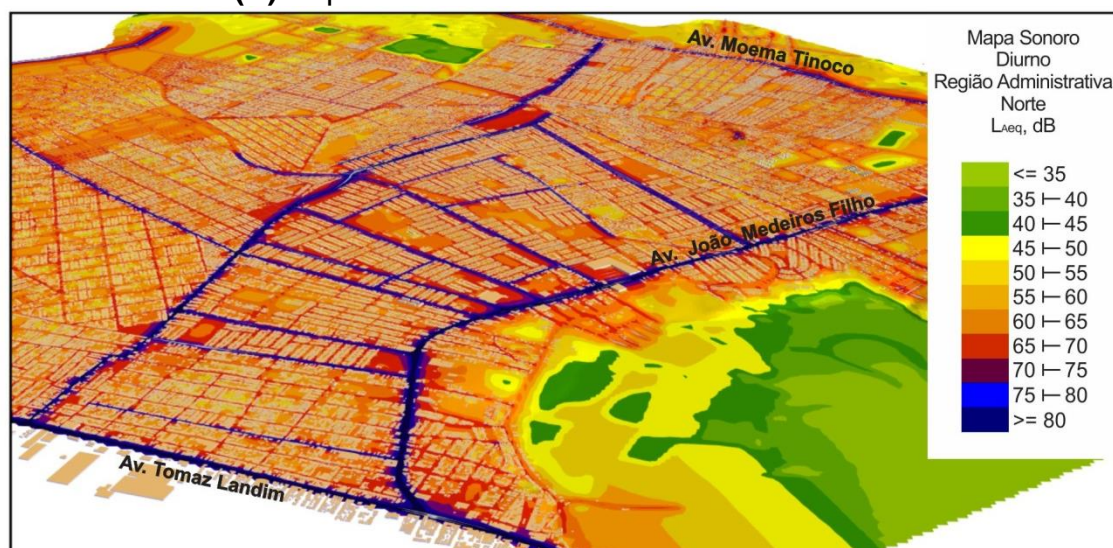
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A sequência de imagens na figura 36A apresenta o modelo geométrico em 3D simulado e a figura 36B apresenta o mapa sonoro em 3D no mesmo ângulo de visualização do modelo.

Figura 36 — Mapa 3D da Região Administrativa Norte.
(A) Modelo geométrico em 3D simulado no *software*.



(B) Mapa sonoro 3D da área de estudo modelada.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

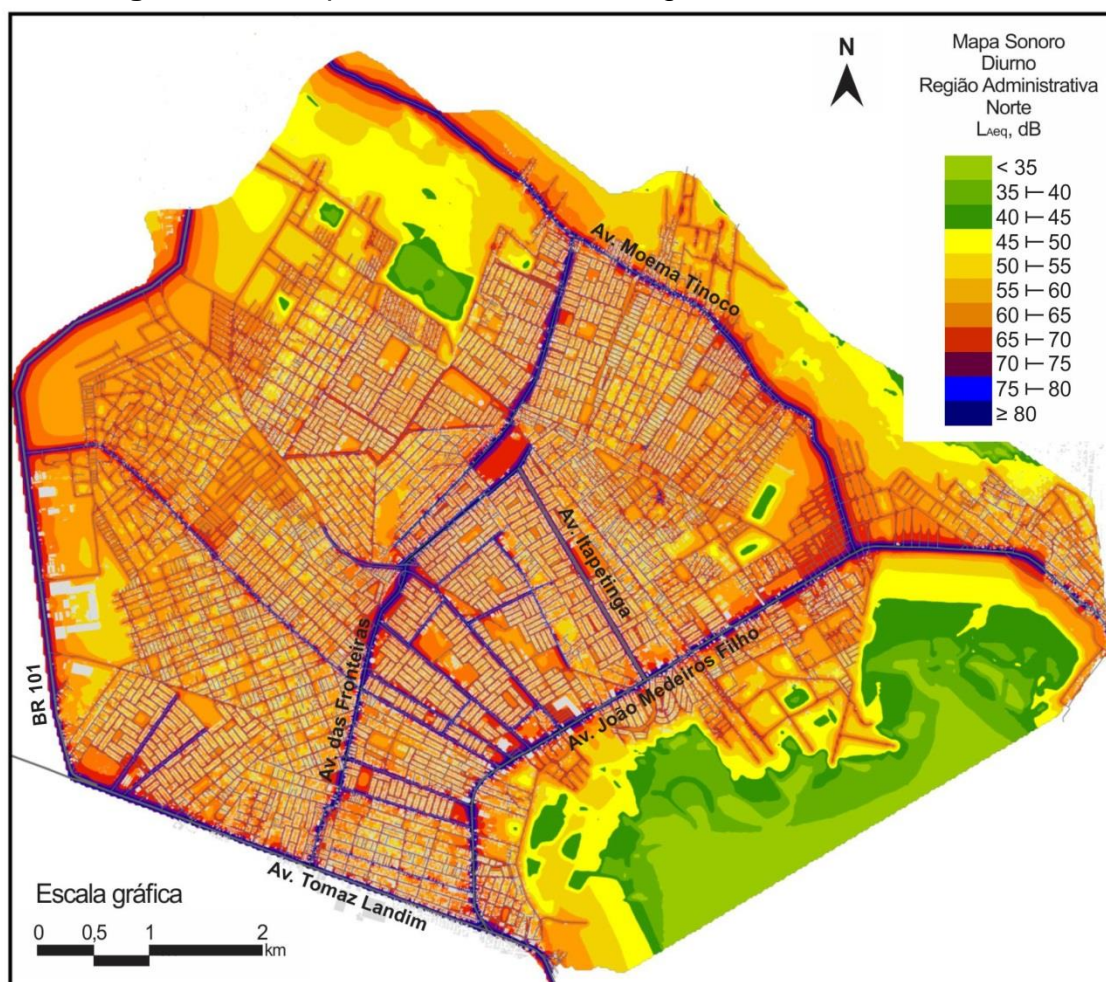
A figura 37 consiste no mapa sonoro da RANorte para o nível de pressão sonora médio diurno no horário das 7h às 22h. Ao lado do mapa, há uma legenda que indica uma escala de cores associada às variações dos níveis sonoros na região.

As vias arteriais e coletoras detêm o maior fluxo veicular e consequentemente a maior concentração de níveis de pressão sonora com destaque às avenidas Tomaz Landim, João Medeiros Filho e BR 101 Norte. Todas apresentam níveis acima de 75dB na fonte sonora. Os bairros de

Potengi e Igapó concentram a maior quantidade de vias arteriais e coletoras com maior tráfego veicular.

Entre as áreas habitadas, o bairro com menores níveis de pressão sonora é o Lagoa Azul, uma vez que possui menor quantidade de vias arteriais e coletoras e uso predominantemente residencial. Baixos níveis de pressão sonora encontram-se também em áreas com presença de vias de baixo fluxo veicular e locais mais afastados das fontes de ruído. Nos centros das quadras, os níveis de pressão sonora decaem ao longo da distância e em função dos obstáculos existentes no percurso.

Figura 37 — Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Norte.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

5.2.2 Região Administrativa Sul (RASUL)

A Região Administrativa Sul do município do Natal/RN reúne sete bairros e apresenta cinco zonas de proteção ambiental, dentre elas o Parque das Dunas. O perímetro engloba também o aporte institucional do campus central da UFRN, o centro administrativo do Estado e o estádio de futebol Arena das Dunas (Figura 38).

Figura 38 — Mapa da Região Administrativa Sul.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Os bairros de Lagoa Nova e Nova Descoberta são os únicos da RASul caracterizados como zona adensável. No entanto, em Nova Descoberta se incide uma legislação de controle de gabarito devido à sua localização no entorno do Parque das Dunas, o que favorece a horizontalidade do bairro. Em

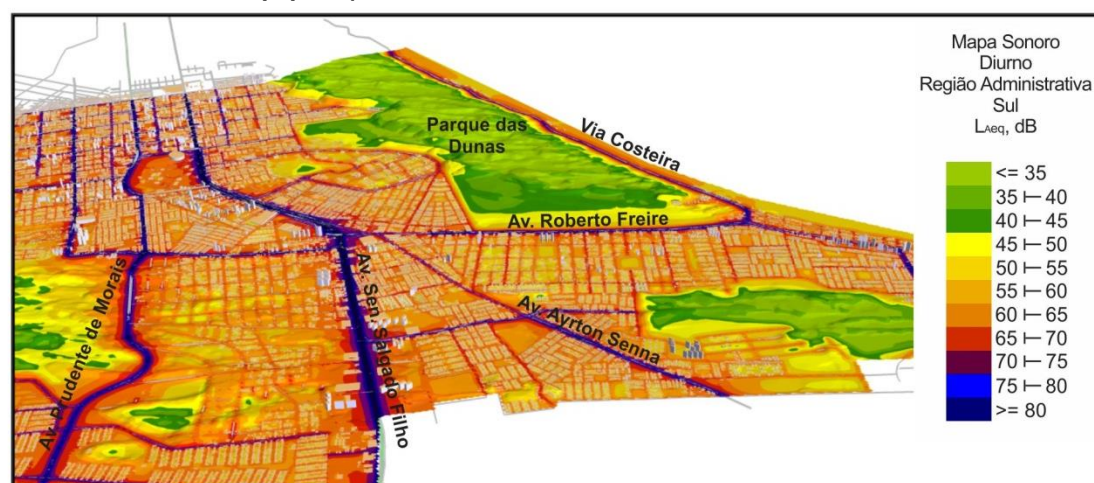
contrapartida, Lagoa Nova apresenta a maior verticalização e diversificação de uso do solo da Região Administrativa em questão (NATAL, 2004). Os bairros de Candelária, Capim Macio e Ponta Negra também são verticalizados, sobretudo em áreas lindeiras às vias arteriais e coletoras, nas quais predominam o uso comercial e de serviço. Por fim, os bairros que apresentam menor verticalização e predominância de uso residencial são Neópolis e Pitimbu.

A sequência de imagens na figura 39A apresenta o modelo geométrico em 3D simulado e figura 39B exibe o mapa sonoro em 3D no mesmo ângulo de visualização do modelo.

Figura 39 — Mapa 3D da Região Administrativa Sul.
(A) Modelo geométrico em 3D simulado no *software*.



(B) Mapa sonoro em 3D simulado no *software*.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A Figura 40 revela o mapa sonoro da RASul para o nível de pressão sonora médio diurno no horário das 7h às 22h.

Figura 40 – Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Sul.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

As vias arteriais e coletoras detêm o maior fluxo veicular e consequente maior concentração de níveis de pressão sonora com destaque as avenidas Salgado Filho e Prudente de Moraes. Ambas apresentam níveis acima de 75dB na fonte sonora. O bairro de Lagoa Nova concentra a maior quantidade de vias arteriais e coletoras, e consequente maior tráfego veicular.

Na RASul, o bairro com menores níveis de pressão sonora foi Ponta Negra, principalmente em sua porção sudeste. Há três viadutos, assim localizados: nos cruzamentos das avenidas Prudente de Moraes com Lima e Silva, Salgado Filho com Lima e Silva e BR 101 Sul com Roberto Freire. Nessas áreas, percebe-se um elevado nível de pressão sonora com valores superiores à 80dB na fonte sonora.

5.2.3 Região Administrativa Leste (RALeste)

A Região Administrativa Leste do município do Natal/RN é composta por doze bairros, apresenta três zonas de proteção ambiental – dentre elas o Parque das Dunas –, e abriga a zona especial de interesse histórico que abrange parte dos bairros de Cidade Alta e Ribeira, centro antigo da cidade (NATAL, 2004), conforme Figura 41.

O bairro de Mãe Luiza é o único da região que se configura como zona de adensamento básico. Localizado próximo à zona de proteção ambiental que compreende o Parque das Dunas, nele predominam padrões de ocupação informal do solo urbano, alta densidade, uso residencial e horizontalidade.

Os bairros de Cidade Alta, Lagoa Seca, Petrópolis, Areia Preta, Alecrim, Barro Vermelho e Tirol, são caracterizados como zonas adensáveis. Deles, apenas quatro apresentam predominância de edificações de um e dois pavimentos, são eles: Ribeira, Rocas, Santos Reis e Praia do Meio. No primeiro, que abriga a maior parte do patrimônio histórico arquitetônico da cidade, predominam usos de serviço e institucionais. Rocas e Santos Reis apresentam predominância de uso residencial e o bairro Praia do Meio exibem diversificação de usos com predominância de comércio e serviço próximos às avenidas de maior fluxo veicular e que margeiam a praia que está inserida no perímetro.

Os bairros de Cidade Alta, Lagoa Seca, Petrópolis, Alecrim, Barro Vermelho e Tirol apresentam maior verticalização, com destaque para Tirol e Petrópolis, sobretudo próximo às vias arteriais e coletoras de alto fluxo veicular, que se concentram nessa região e, por sua vez, agrupam os usos comerciais e

de serviço. Nesses bairros, identificou-se também maior diversificação de usos, com exceção do Alecrim, no qual apresenta bastante uso comercial.

Figura 41 — Mapa da Região Administrativa Leste.



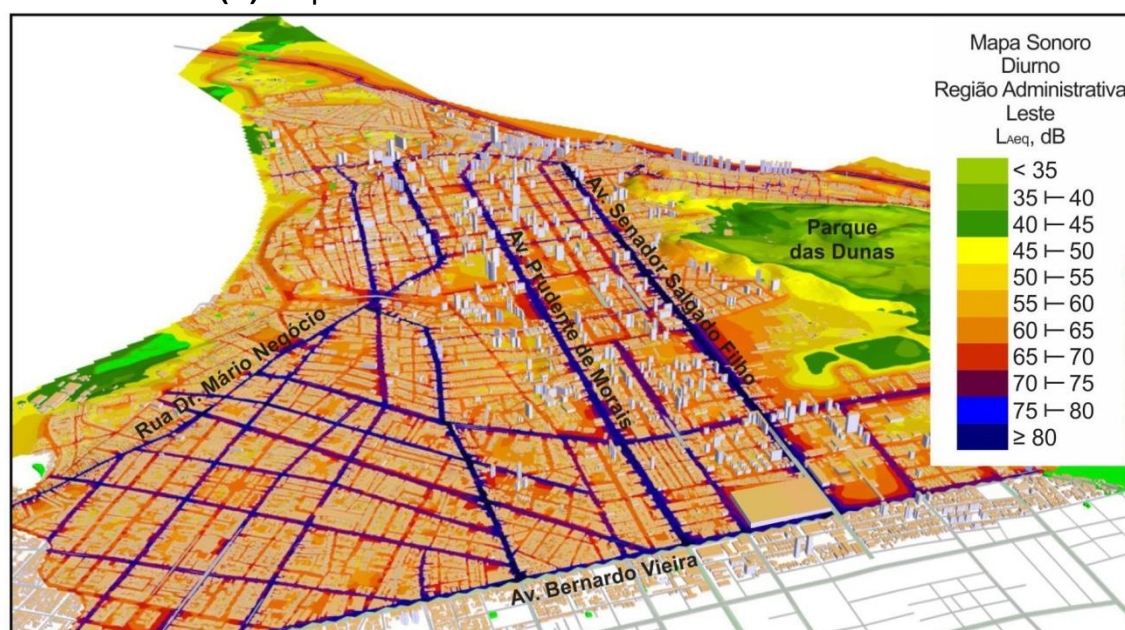
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A sequência de imagens na Figura 42A apresenta o modelo geométrico em 3D simulado e Figura 42B demonstra o mapa sonoro em 3D no mesmo ângulo de visualização do modelo.

Figura 42 — Mapa 3D da Região Administrativa Leste.
(A) Modelo geométrico 3D simulado no software.



(B) Mapa sonoro em 3D simulado no software.

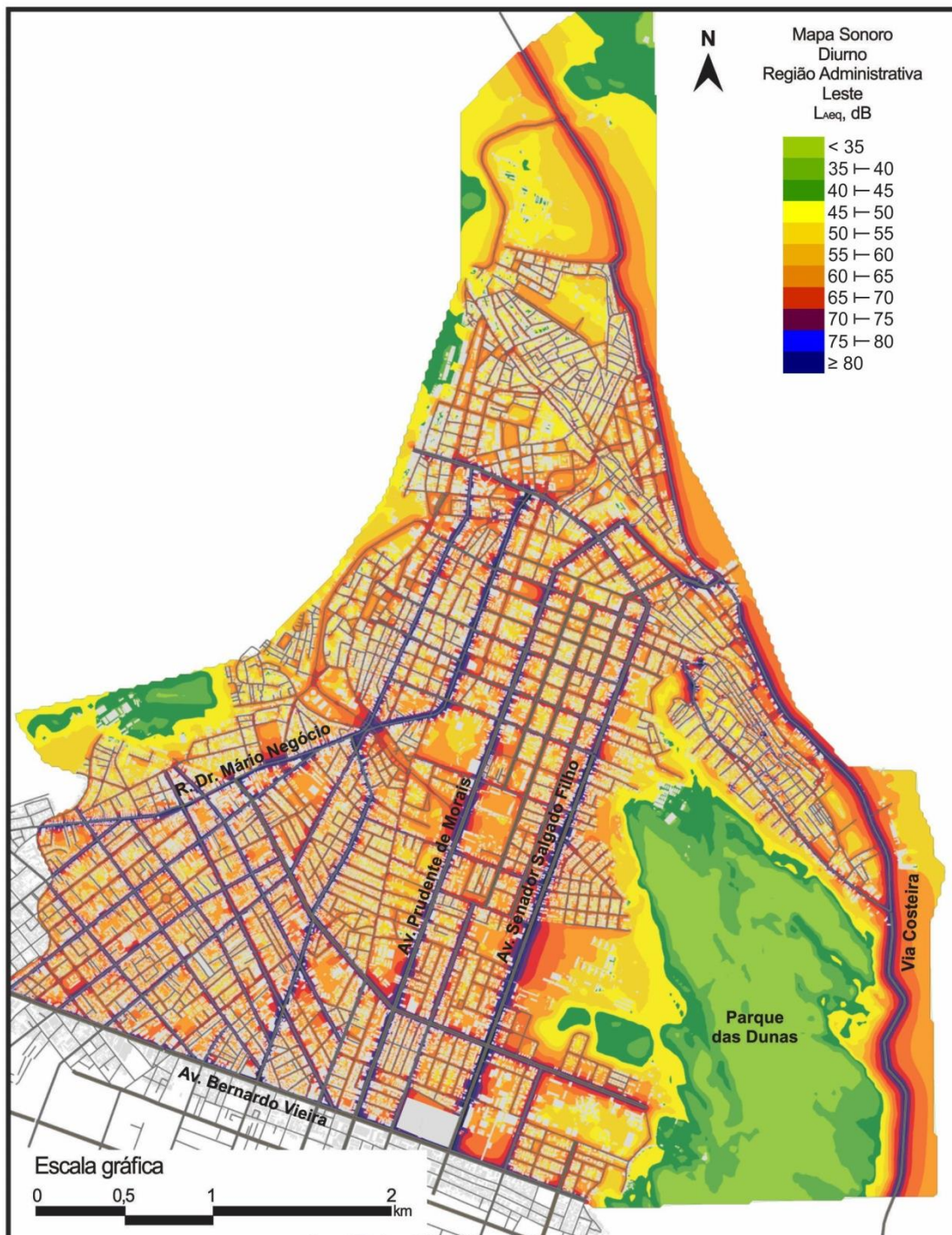


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A figura 43 apresenta o mapa sonoro da RALeste para o nível de pressão sonora médio diurno no horário das 7h às 22h. Nos bairros de Lagoa Seca, Barro Vermelho, Alecrim, Tirol, Petrópolis e Cidade Alta se concentra a maior quantidade de vias arteriais e coletoras com maior tráfego veicular. Todos esses bairros apresentam vias com níveis elevados de pressão sonora,

entre 75-85dB. A área habitada com menores níveis de pressão sonora compreende o bairro de Santos Reis.

Figura 43 — Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Leste.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

5.2.4 Região Administrativa Oeste (RAOeste)

A Região Administrativa Oeste do município do Natal/RN é composta por dez bairros, apresenta três zonas de proteção ambiental que compreendem o ecossistema manguezal e Estuário do Potengi/Jundiaí, o Campo Dunar dos bairros Guarapes e Planalto, e o Campo Dunar de Cidade Nova, e engloba em seu perímetro a rodoviária da cidade (Figura 44). Apenas três de seus bairros são caracterizados como zonas adensáveis: Nordeste, Quintas e Dix-Sept Rosado. Os bairros Bom Pastor, Nossa Senhora de Nazaré, Felipe Camarão, Cidade da Esperança, Cidade Nova, Guarapes e Planalto são caracterizados como zonas de adensamento básico (NATAL, 2007).

Figura 44 — Mapa da Região Administrativa Oeste.



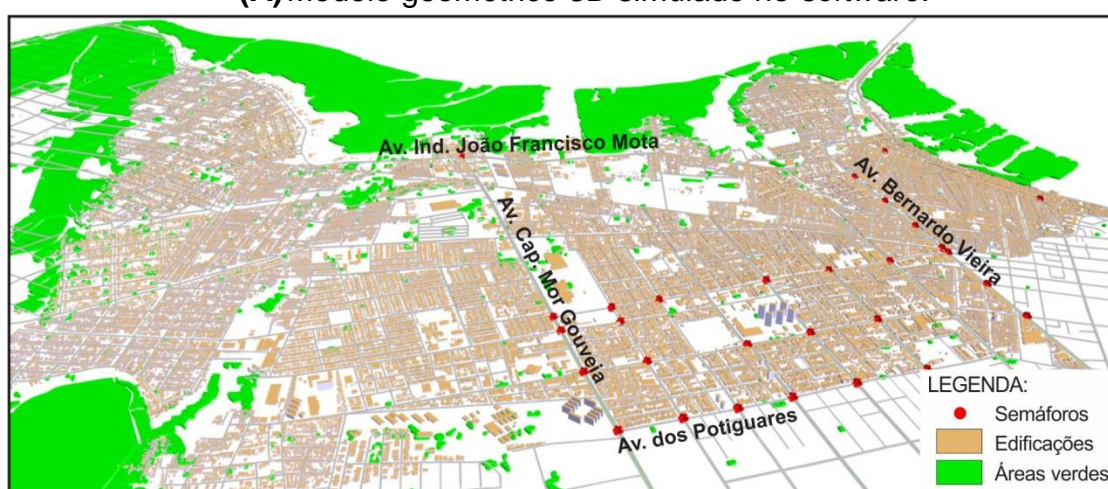
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Em todos os bairros, predominam edificações com gabarito de um ou dois pavimentos e o uso residencial e residencial-misto. As vias arteriais e coletoras de maior fluxo veicular concentram as edificações comerciais e de serviço.

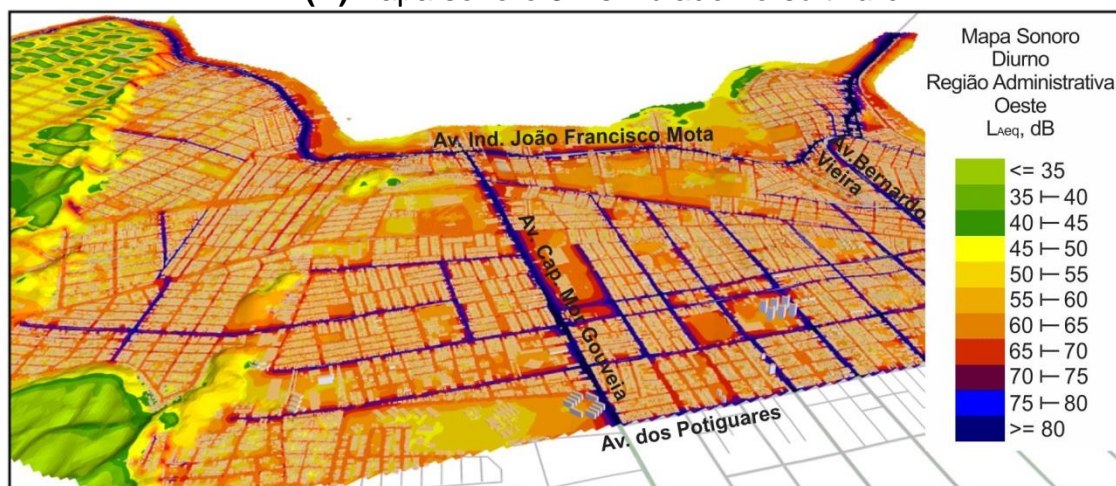
A sequência de imagens na figura 45A apresenta o modelo geométrico em 3D simulado e figura 45B apresenta o mapa sonoro em 3D no mesmo ângulo de visualização do modelo.

Figura 45 — Mapa 3D da Região Administrativa Oeste.

(A) Modelo geométrico 3D simulado no *software*.



(B) Mapa sonoro 3D simulado no *software*.

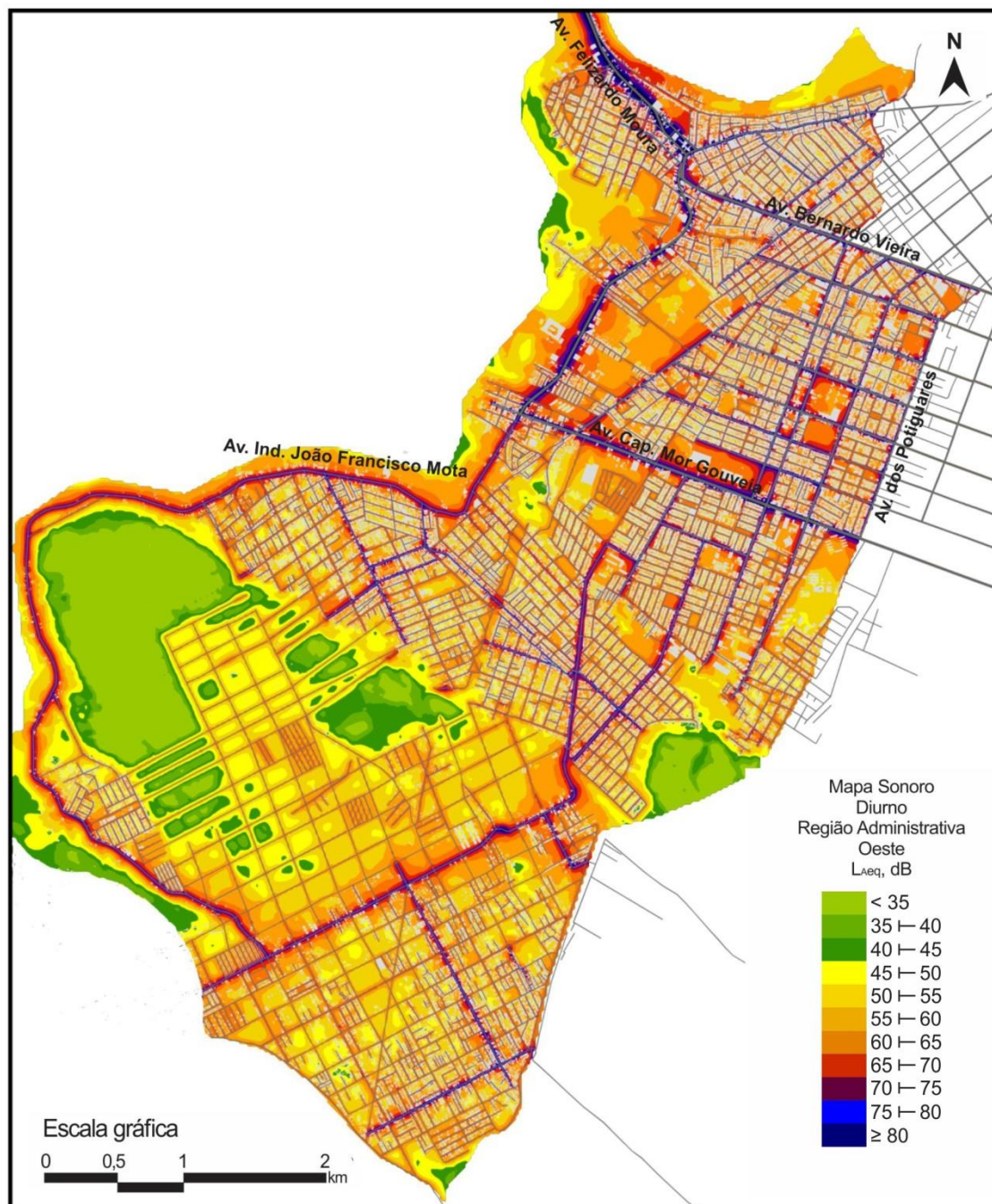


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A Figura 46 apresenta o mapa sonoro da RAOeste para o nível de pressão sonora médio diurno no horário das 7h às 22h.

As avenidas Capitão Mor Gouveia, Felizardo Moura e Industrial João Francisco Mota detêm os maiores fluxos veiculares e consequentemente maior concentração de níveis de pressão sonora. Todas apresentam níveis acima de 75dB na fonte sonora.

Figura 46 — Mapa sonoro diurno da Região Administrativa Oeste.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na RAOeste, os bairros com menores níveis de pressão sonora identificados são Felipe Camarão, Guarapes e Planalto, visto que, nestas áreas, há predominância do uso predominantemente residencial e vias de baixo fluxo exclusivas para esse uso.

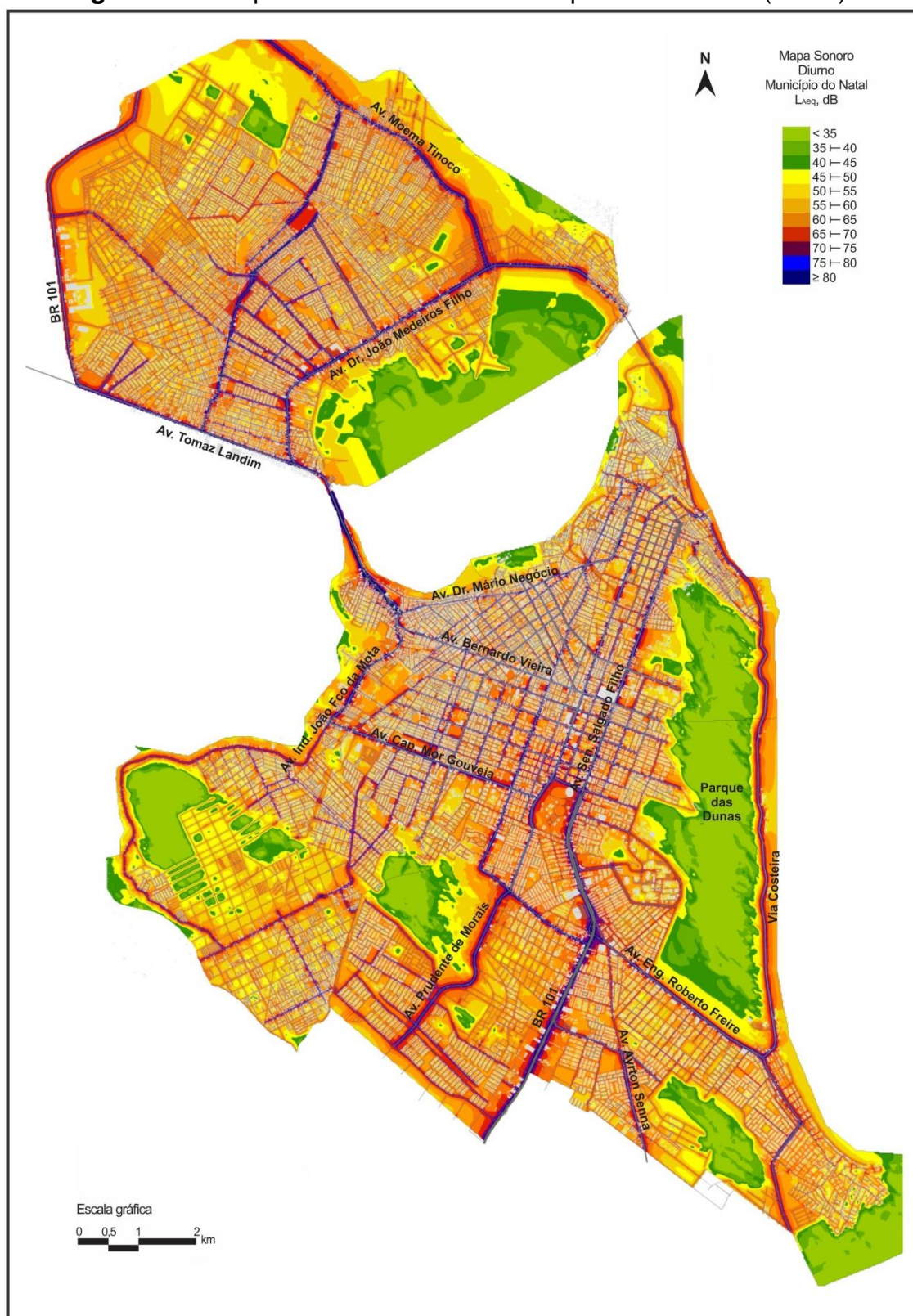
5.3. MAPA SONORO DO MUNICÍPIO DO NATAL/RN

Com base nos mapas sonoros das regiões administrativas, foi gerado o mapa sonoro do município do Natal/RN para o mês de abril de 2016. Os mapas sonoros no plano horizontal (*Grid Noise Map*) foram gerados, possuindo entrada de dados com altura de 4,00m acima do nível do solo e malha de cálculo de 20mx20m. O mapa sonoro foi gerado para o período médio diurno (7-22h) e para os horários de pico diurnos (7-8h e 17-18h).

5.3.1. Mapa Sonoro no período diurno

Considerou-se o nível de pressão sonora médio diurno no horário das 7h às 22h, por meio da grandeza de avaliação nível equivalente médio de ruído (L_{eq}) na ponderação A — L_{Aeq} . Ao analisar o mapa sonoro do município do Natal/RN (Figura 47), verificou-se que todo o município encontra-se afetado por elevados níveis de pressão sonora, com valores mais altos nas vias arteriais e coletoras, cujo tráfego veicular é mais intenso. Observou-se também que a malha viária fornece maiores níveis de pressão sonora onde ocorre a aproximação das vias de alto fluxo, e que as áreas adensadas apresentaram níveis de pressão sonora mais elevados quando comparada com áreas de menor adensamento.

Figura 47 — Mapa sonoro diurno do município do Natal/RN (7-22h).



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Áreas sem presença de edificações na faixa lindeira da via apresentam decaimento sonoro mais lento, porém o recuo para a edificação encontra-se maior. Por conseguinte, devido ao recuo, a edificação é menor impactada pelo ruído. Em contrapartida, em áreas com edificações presentes nas faixas lindeiras das vias, os níveis de pressão sonora impactam mais os usuários das edificações devido à proximidade do edifício com a via.

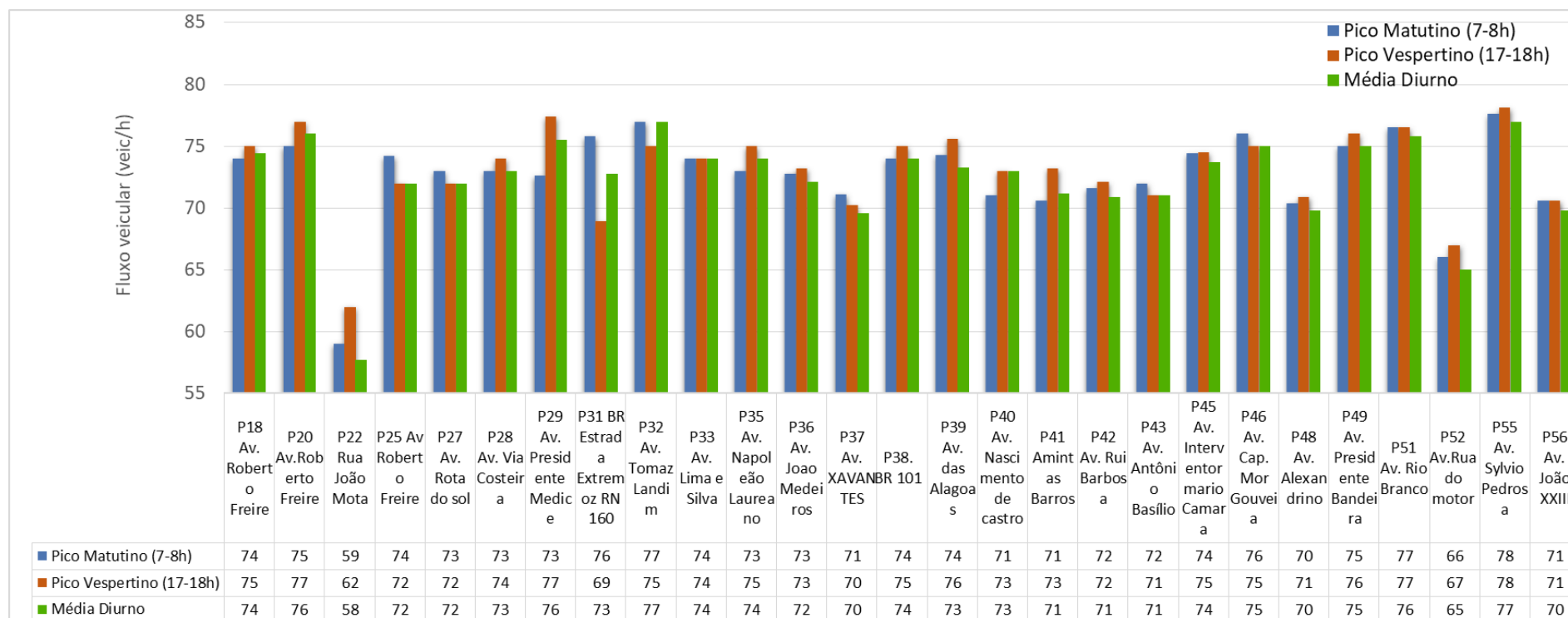
Os menores níveis de pressão sonora foram identificados em zonas de proteção ambiental, nas ZPA's que não apresentam predominância de ocupação permanente de usuários e presença de vias. Devido à existência da fauna, são necessários baixos níveis de pressão sonora com a finalidade de permitir a correta adaptação das espécies e evitar seu afugentamento.

5.3.2. Mapa Sonoro no período de pico diurno

Além do mapa sonoro no horário médio diurno (7-22h), foram gerados os mapas nos horários das medições acústicas (7-8h e 17-18h) que representam os dois horários de pico de tráfego veicular. A Figura 49 apresenta o mapa sonoro no horário de pico matutino (7-8h) e a Figura 50 o mapa sonoro no horário de pico vespertino (17-18h).

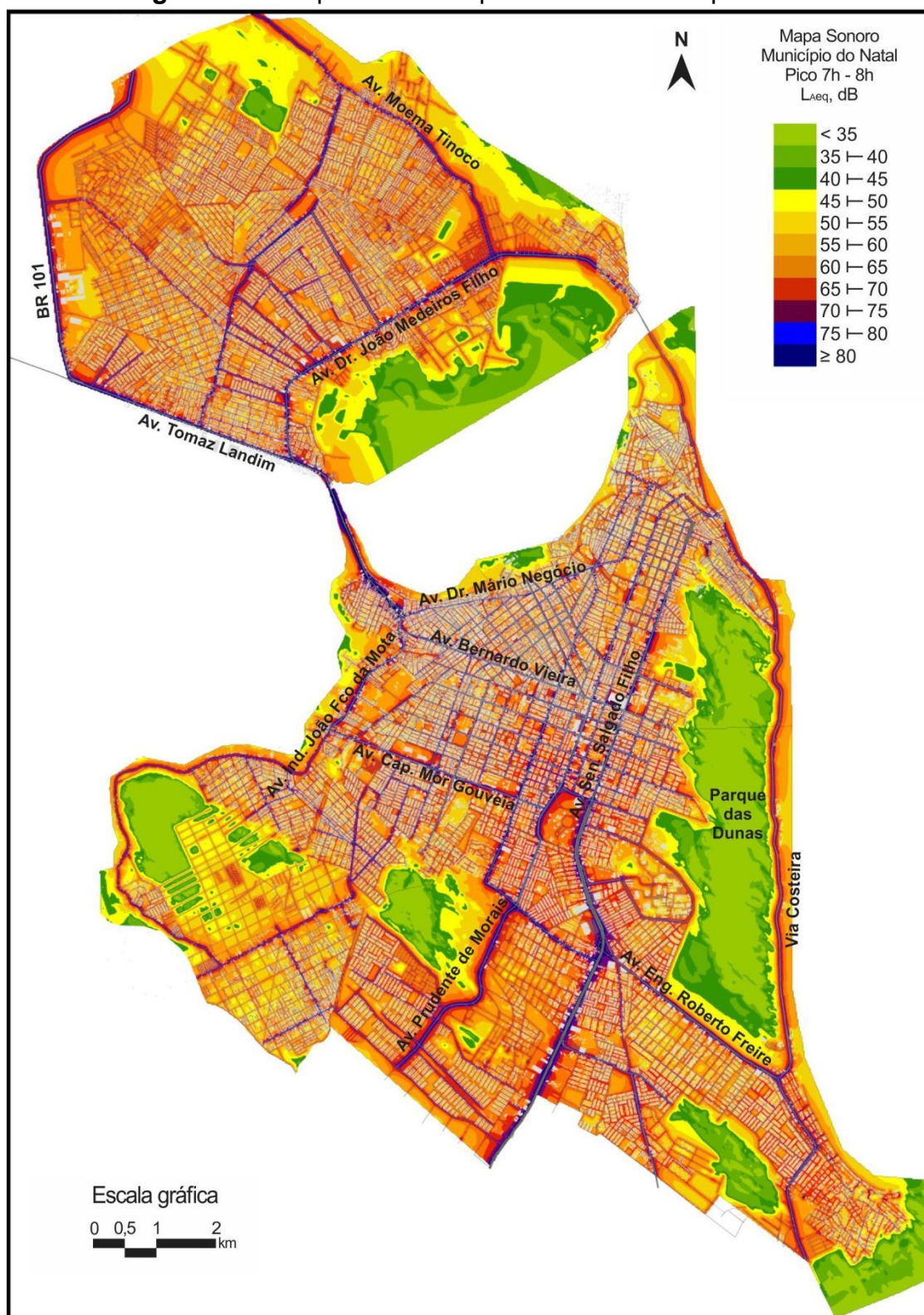
A partir do banco de dados dos 193 pontos de medição (Apêndice C) o valor global de fluxo veicular possui o aumento dos horários de pico comparado ao horário diurno: 15% pico matutino 7-8h; 22% pico vespertino 17-18h. Com relação aos níveis de pressão sonora, a Figura 48 apresenta receptores pontuais inseridos no programa, no qual se percebe que a média diurna possui diferença máxima de $\pm 3\text{dB}$ em relação aos horários de picos.

Figura 48 — Dados de NPS por horário Gráfico dos níveis de pressão sonora em L_{Aeq} , por ponto de medição, nos horários diurno e pico.



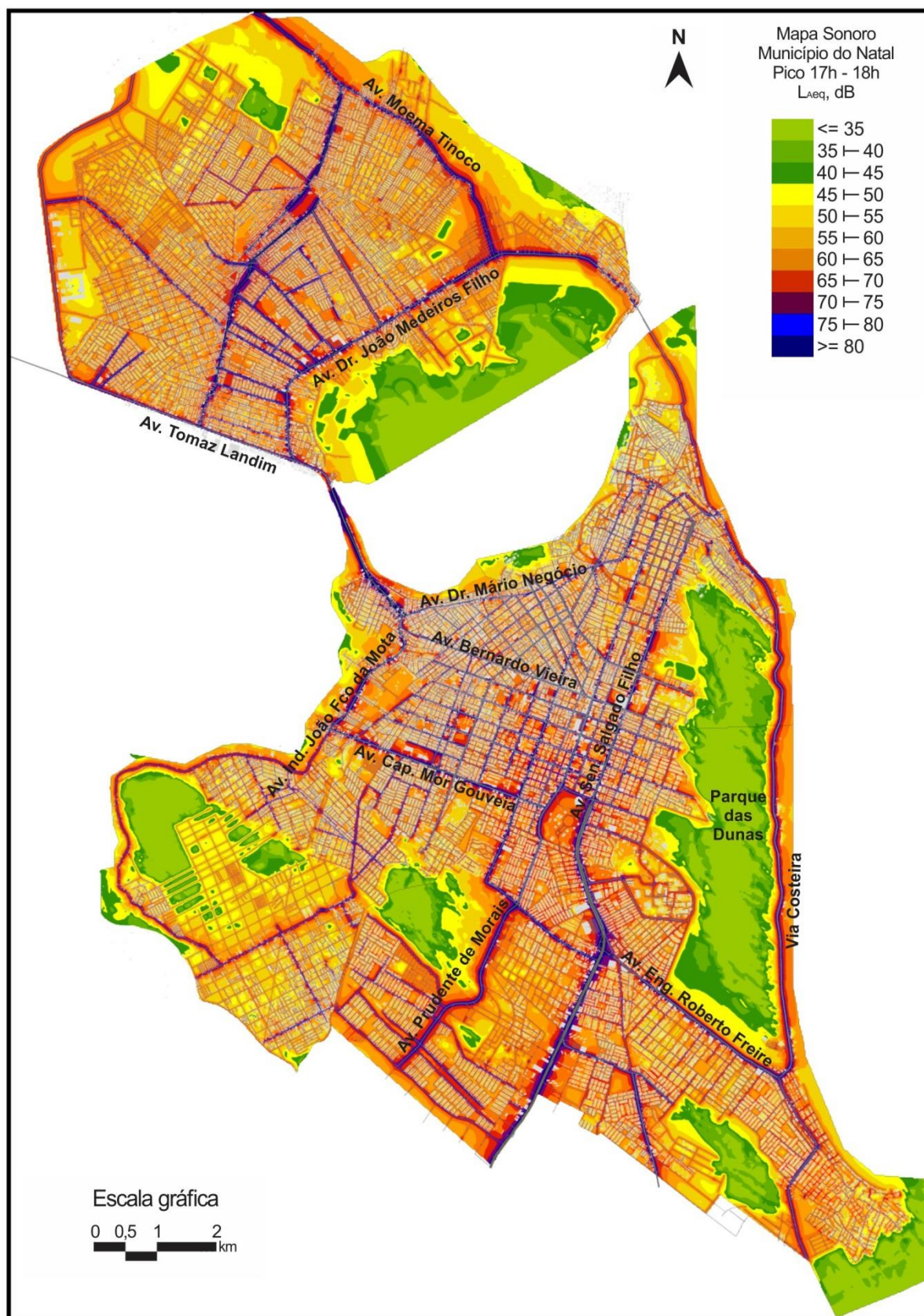
. Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Figura 49 — Mapa sonoro de pico 7-8h do município do Natal/RN.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Figura 50 — Mapa sonoro de pico 17-18h do município do Natal/RN.



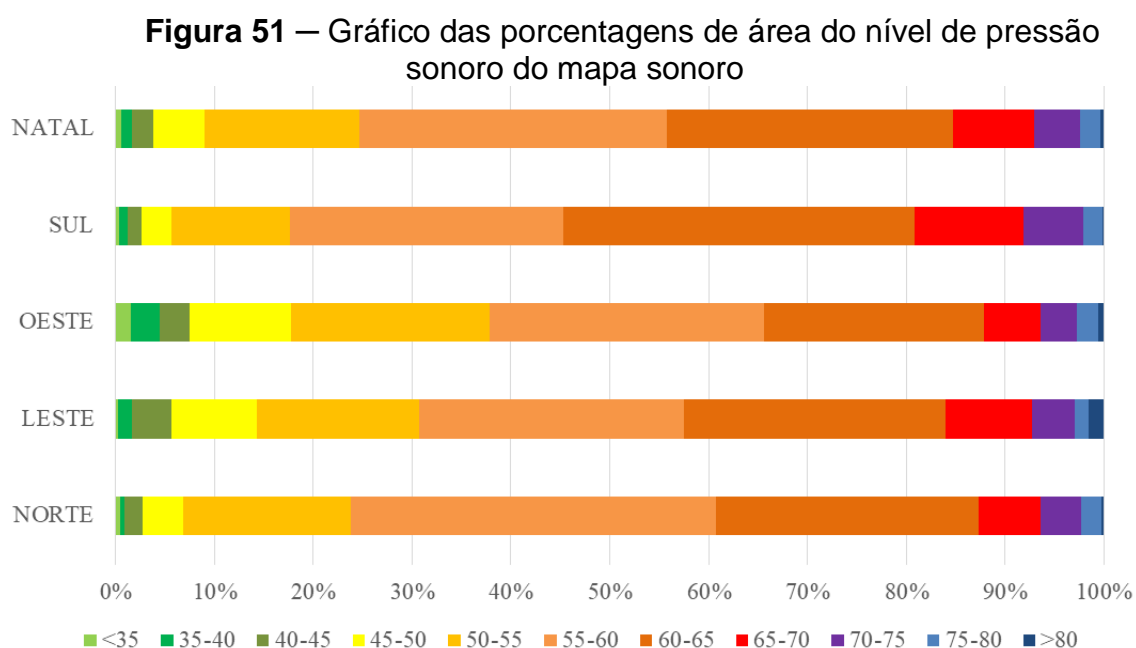
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse item, serão abordados os níveis de pressão sonora excedentes por Região Administrativa em termos numéricos e de mapa sonoro. Em seguida, apresenta-se a discussão dos condicionantes físico-ambientais. Na terceira etapa, aborda a profundidade do impacto das vias arteriais e coletoras na faixa lindeira as vias. Por fim, apresenta-se as diretrizes para mitigação sonora.

5.4.1 Níveis de excedência

A partir do mapeamento sonoro do município do Natal/RN, foi possível quantificar o percentual de área de cada intervalo do nível de pressão sonora (Figura 51). Em termos gerais, todo o município do Natal apresenta concentração de elevados níveis de pressão sonora.



Ao analisar o quantitativo por Região Administrativa (Tabela 30) percebeu-se que a concentração sonora nas regiões Norte e Sul ocorreu no intervalo entre 60 e 65dB, resultando, respectivamente, em 26,5 e 35,6%. A

RALeste apresentou alta concentração do ruído em dois intervalos – 55 a 60dB e 60 e 65dB –, resultando, respectivamente, em 26,8 e 26,5%. A RAOeste apresentou alta concentração do nível sonoro no intervalo entre 55 e 60dB.

Quanto à distribuição das menores porcentagens de áreas com os intervalos de pressão sonora, observou-se que a maior concentração foi nos intervalos menores que 45dB e nos intervalos acima de 70dB, nas quatro regiões analisadas.

Tabela 30 — Porcentagem de área do nível de pressão sonora do mapa sonoro

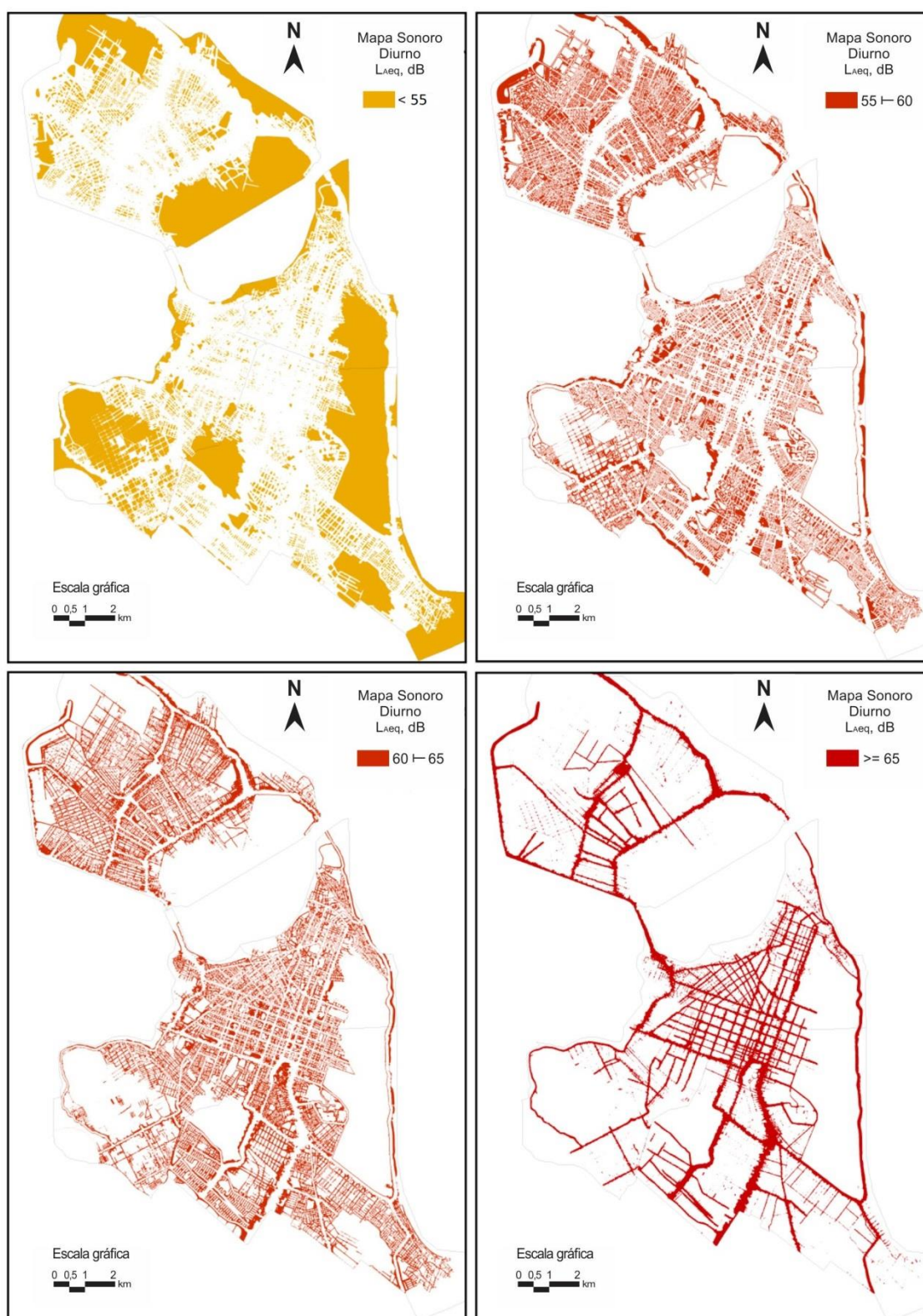
NÍVEL DE PRESSÃO SONORA MÉDIO DIURNO (L_{Aeq} : 7-22H)						
Legenda	Região Administrativa Norte (%)	Região Administrativa Sul (%)	Região Administrativa Leste (%)	Região Administrativa Oeste (%)	Município do Natal (%)	
<35	0.5	0.4	0.2	1.5	0.6	
35 f 40	0.4	0.8	1.4	3	1.1	
40 f 45	1.8	1.4	4.1	3	2.1	
45 f 50	4.1	3.1	8.6	10.2	5.2	
50 f 55	17	12	16.4	20.1	15.7	
55 f 60	37	27.6	26.8	27.8	31.1	
60 f 65	26.5	35.6	26.5	22.3	29	
65 f 70	6.3	11.1	8.7	5.7	8.2	
70 f 75	4.1	6	4.3	3.7	4.7	
75 f 80	2.1	2	1.5	2.1	2	
≥80	0.2	0.1	1.5	0.6	0.4	

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

De acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2000), o nível critério de avaliação (NCA) para ambientes externos varia de acordo com o uso da área. A norma recomenda níveis de conforto de 55dB para áreas mistas predominantemente residenciais.

O mapa sonoro demonstra que 65,3% do município do Natal/RN, encontra-se com área do nível de pressão sonora médio diurno (L_{Aeq} , 7-22h) excedente aos 55dB recomendado pela NBR 10151/2000. A Figura 52 apresenta que os níveis de pressão sonora permitidos (abaixo de 55dB) localizam-se principalmente em áreas verdes, vias de baixo fluxo veicular e em meios de quadra, sendo estas distantes de vias de alto fluxo veicular.

Figura 52 — Mapa sonoro dos intervalos de L_{Aeq} .



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), por sua vez, recomenda a exposição L_d (nível de pressão sonora diurno) de 65dB (OMS, 1999). Os dados revelam que 15,3% do município do Natal/RN, encontra-se com nível de pressão sonora médio diurno (L_{Aeq} , 7-22h) acima dos 65dB, nos quais a faixa de 55 a 65dB encontra-se distribuída homoganeamente em grande parte do território. Por fim, a Figura 49 apresenta também os níveis sonoros acima de 65dB que se localizam ao longo das vias de alto fluxo.

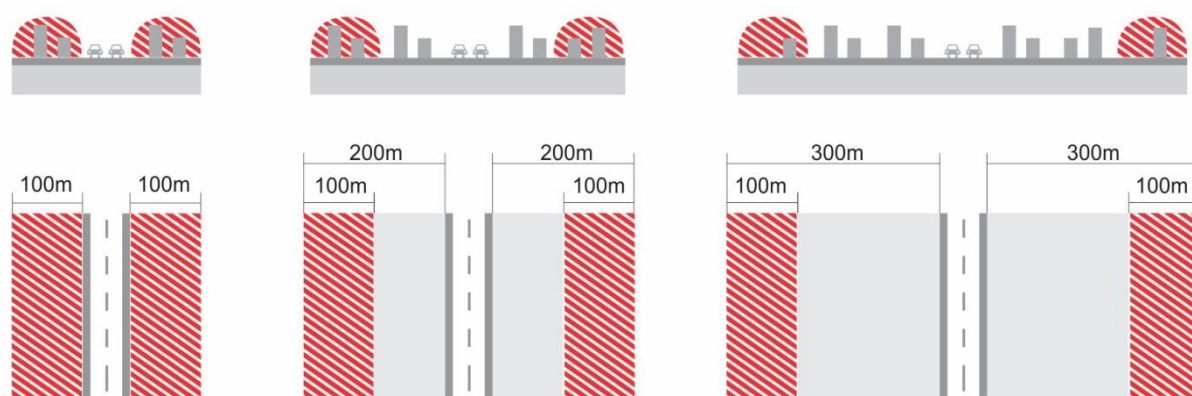
Dessa forma, grande parcela do município de Natal possui níveis de pressão sonora elevados, gerando zonas em desacordo com valores recomendados pelas normativas. A partir dos condicionantes físicos-ambientais que influenciam na acústica ambiental, foi realizado o diagnóstico do dano causado por cada atributo deste, e avaliado a diretriz de combate ao impacto e possíveis medidas de aplicação, sendo: padrões de ocupação; topografia e áreas verdes; sistema viário e de circulação; e barreiras acústicas.

5.4.2. Profundidade do impacto do ruído de tráfego

Por meio do mapa do município do Natal/RN, foram demarcadas as áreas das faixas lindeiras para as vias arteriais e vias arteriais+coletoras. Foi proposto três tipologias de vias espaçadas 100m entre si (Figura 53):

- a) Faixa 0-100m: faixa do meio-fio da via até 100m, em ambos os lados da via;
- b) Faixa 100-200m: faixa dos 100m até os 200m (excetuando-se os valores da faixa 0-100m), em ambos os lados da via;
- c) Faixa 200-300m: faixa dos 200m (excetuando-se os valores da faixa 0-100m e 100-200m) até os 300m, em ambos os lados da via;

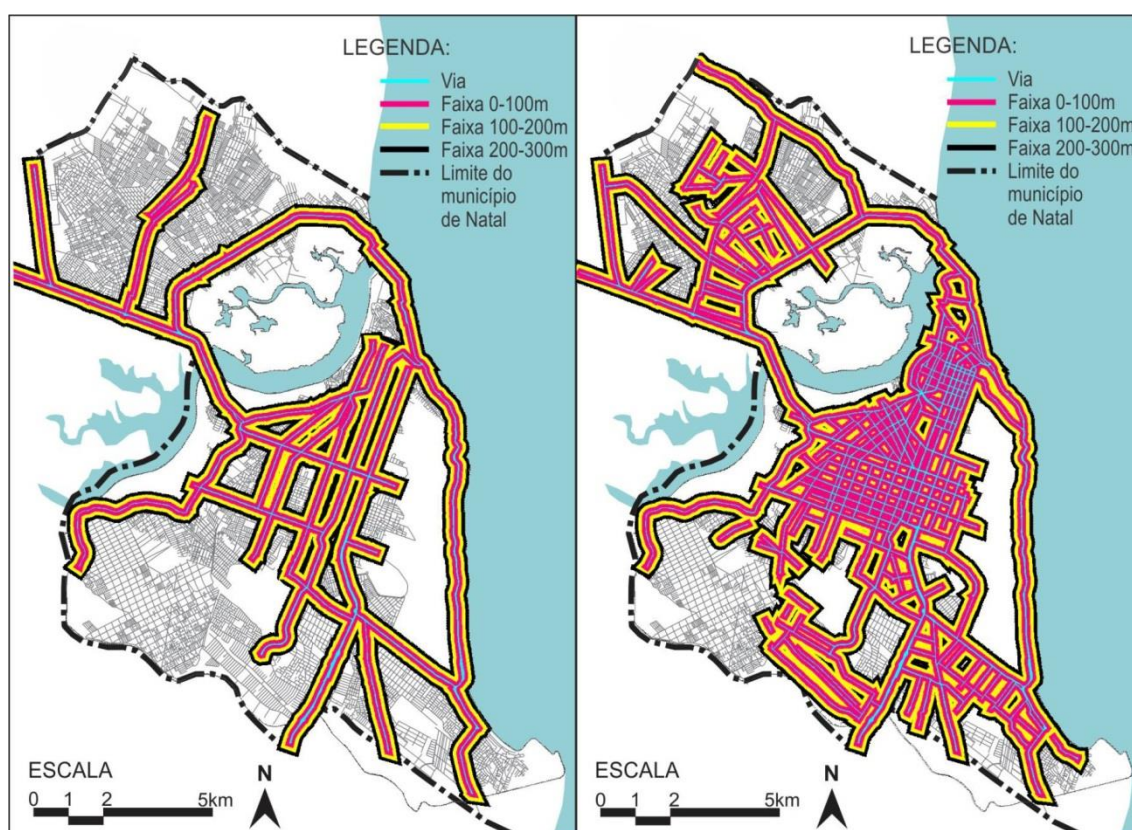
Figura 53 – Esquema da localização das faixas lindeiras



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Os limites das faixas lindeiras (Figura 54) foram exportados para o mapa sonoro do município do Natal/RN, onde foram quantificadas as áreas de cada intervalo dos níveis de pressão sonora em cada faixa do mapa sonoro diurno (7-22h).

Figura 54 – Localização das faixas lindeiras das vias arteriais e vias arteriais + coletoras.

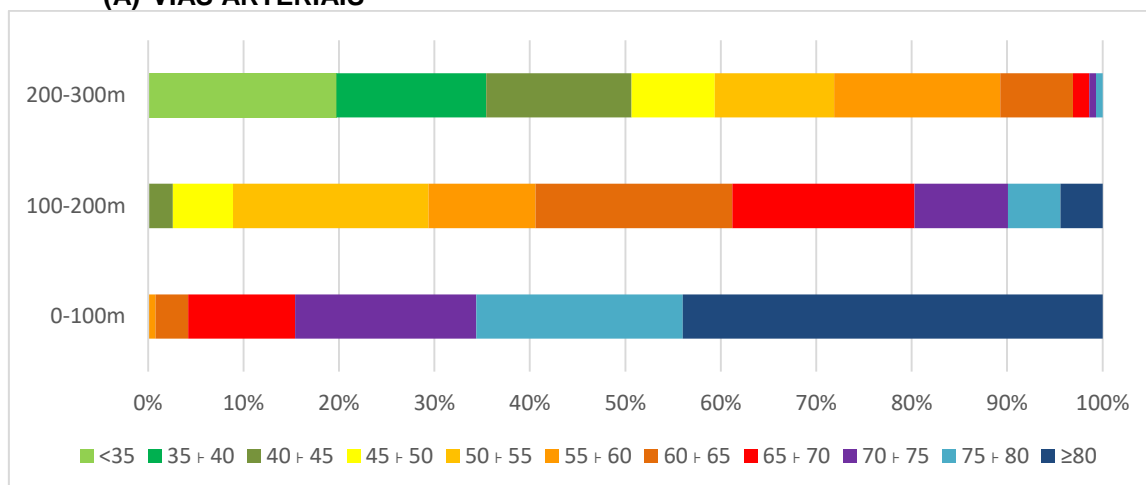


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

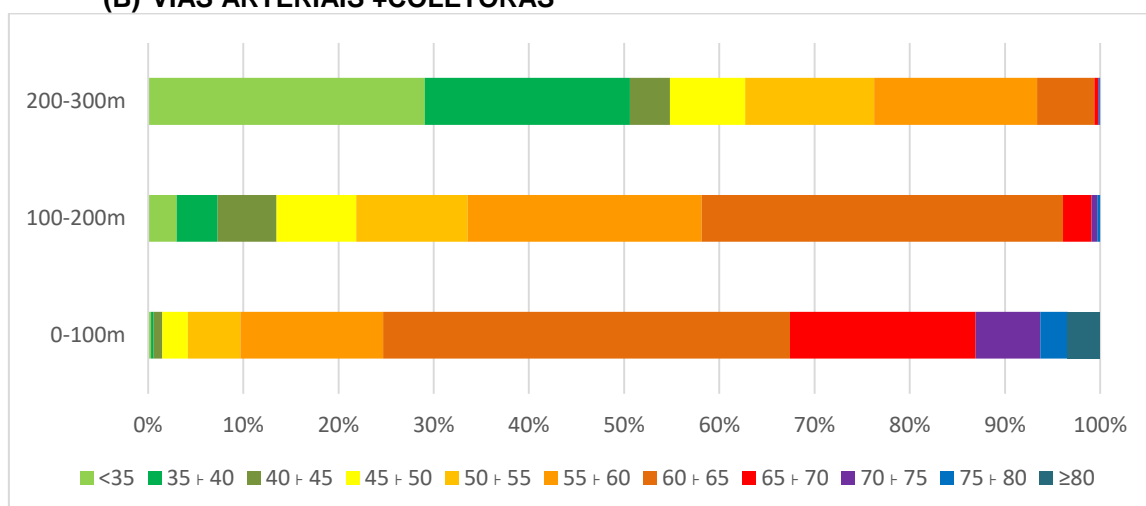
Na Figura 55, fica demonstrado as grandes disparidades entre os dados à medida que se distancia da fonte sonora (a via). Os dados apresentam que na faixa lindeira de 0-100m, as vias arteriais possuem 95.8% e as vias arteriais+coletoras 32.6% acima dos 65dB. Na faixa lindeira 100-200m as vias arteriais possuem 38.8% e as vias arteriais+coletoras 3.9% acima dos 65dB. E na faixa lindeira 200-300m as vias arteriais possuem 3.2% e as vias arteriais+coletoras 0.6% acima dos 65dB.

Figura 55 — Gráfico das porcentagens de área do nível de pressão sonoro do mapa sonoro

(A) VIAS ARTERIAIS














(B) VIAS ARTERIAIS +COLETORAS



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Com base na tabela 31, toda a faixa lindeira 0-100m das vias arteriais apresenta valores acima dos recomendados (ABNT, 2000). Ressalta-se também que em todas as faixas lindeiras as vias arteriais apresentam maior quantidade com valores de níveis de pressão sonora elevados se comparados as vias arteriais+coletoras. A Tabela 31 registra as porcentagens de cada intervalo.

Tabela 31 – Porcentagens dos intervalos dos níveis sonoros nas faixas lindeiras das vias arteriais e coletoras

		Vias arteriais			Vias arteriais + coletoras		
Legenda		0-100m (%)	100-200m (%)	200-300m (%)	0-100m (%)	100-200m (%)	200-300m (%)
	<35	0	0	19.7	0.3	3	29
	35 + 40	0	0.1	15.7	0.3	4.3	21.5
	40 + 45	0	2.5	15.2	0.9	6.2	4.2
	45 + 50	0	6.3	8.7	2.7	8.4	7.9
	50 + 55	0	20.5	12.5	5.5	11.7	13.5
	55 + 60	0.8	11.2	17.4	15.0	24.6	17.1
	60 + 65	3.4	20.6	7.6	42.8	38	6
	65 + 70	11.2	19.1	1.7	19.5	3	0.4
	70 + 75	19.0	9.8	0.7	6.8	0.6	0.1
	75 + 80	21.6	5.5	0.7	2.9	0.3	0.1
	≥80	44.0	4.4	0	3.4	0	0

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

5.4.3 Discussão dos condicionantes físico-ambientais que interferem na acústica ambiental

Esse item trata a discussão dos condicionantes físico-ambientais¹³ nos quais em cada condicionante foram elencados os atributos que interferem no ruído urbano. Para isso, foram selecionados mapas sonoros em escala local no município do Natal que tratem das características de cada atributo.

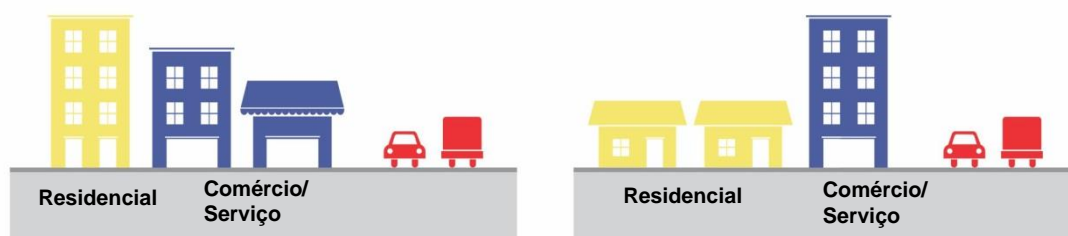
¹³ Nos condicionantes físico-ambientais, não foi abordado a pavimentação devido a necessidade de estudos específicos, os quais fugiriam do escopo desta tese.

5.5.3.1 Padrões de Ocupação

Este item trata das discussões dos resultados gerados por meio dos mapas sonoros para os atributos: uso do solo e gabarito.

A depender do uso do solo, os níveis de pressão sonora recomendados oscilam, a exemplo das áreas residenciais que necessitam de níveis de ruído mais restritivos. Nesse intuito, pode-se ordenar o padrão de ocupação com base nos ruídos gerados e sua proximidade via-receptor (Figura 56).

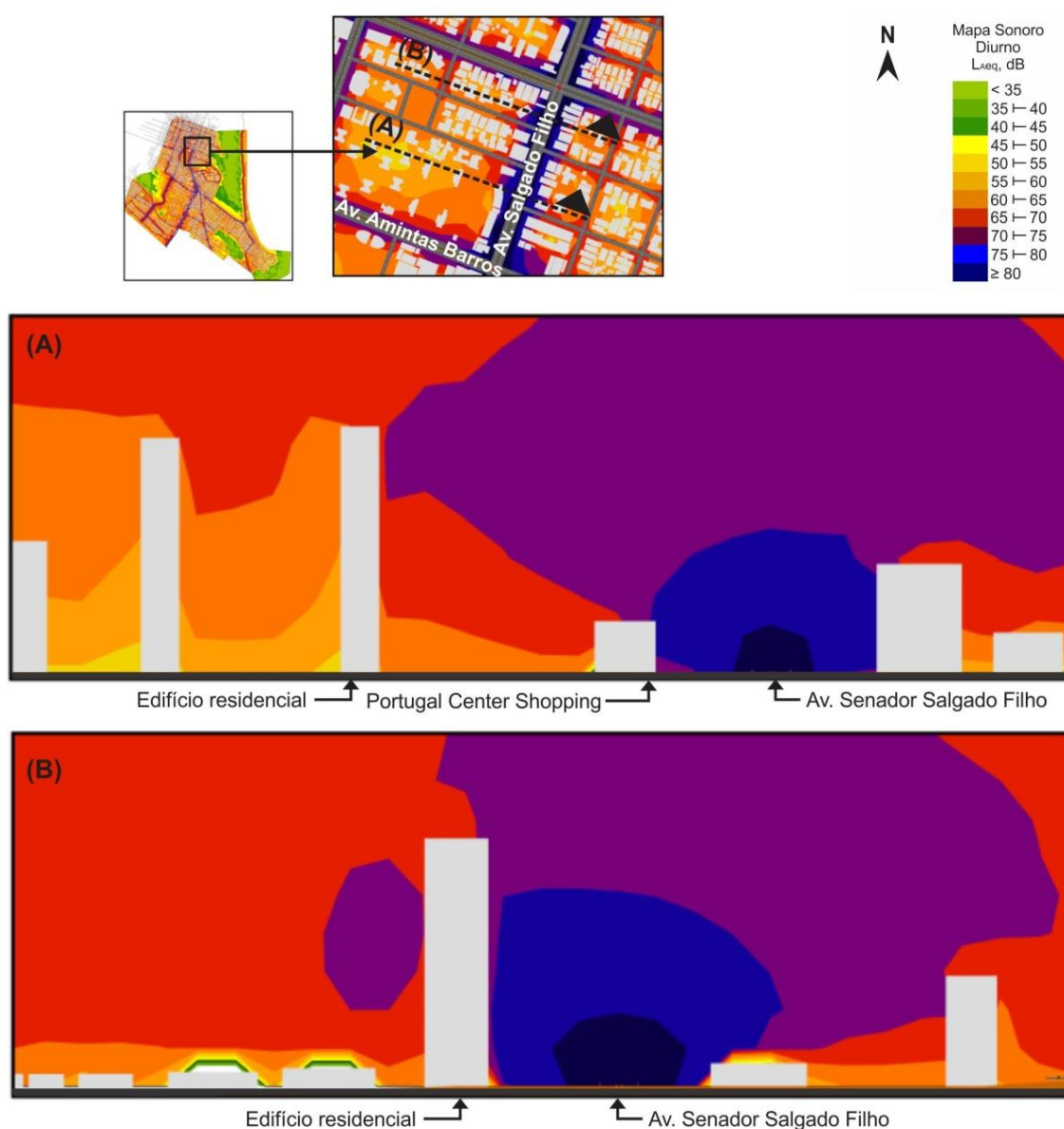
Figura 56 — Esquema de zoneamento do uso do solo e perfil de escalonamento do gabarito.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A faixa lindeira da avenida Salgado Filho (RASul) apresenta-se como a via de maior fluxo viário com diferentes padrões de ocupação do uso do solo. A Figura 57A ilustra a via com o edifício comercial com os maiores níveis de pressão sonora, e, por trás deste, edifícios residenciais com maior recuo a via e parcialmente protegidos pela sombra acústica. Já a Figura 57B apresenta maiores níveis de pressão sonora incidindo sobre o edifício residencial localizado no bordo da via.

Figura 57 — Mapa sonoro diurno da av. Salgado Filho (RASul).

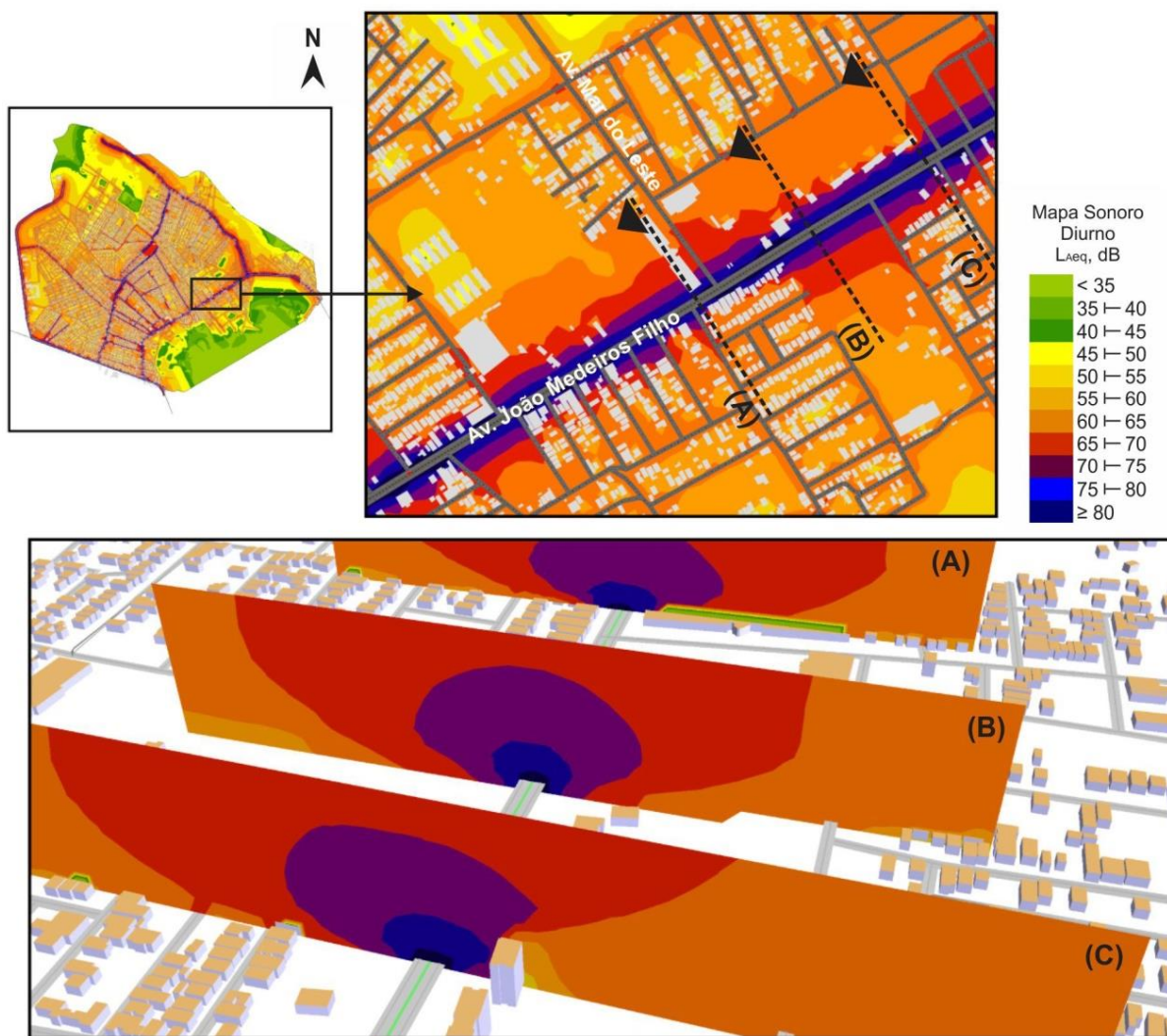


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na av. João Medeiros Filho (RANorte), há a presença de diferentes padrões de ocupação que resulta em diferentes propagações e impactos. Em situações nos quais há edifícios nas lindeiras das vias (Figura 58, corte A), ocorrem um confinamento das ondas sonoras nas vias, o que pode resultar em dano aos usuários das edificações lindeiras. No entanto, tais edificações se comportam também como edifício-barreira, dificultando a livre propagação sonora para as edificações localizadas na parte posterior do mesmo. Em áreas sem ocupação (Figura 58, corte B) ocorre a situação de campo livre, caracterizada pelo contínuo decaimento sonoro com a distância. Em situações

mistas (Figura 58, corte C), quando existe edificação apenas de um lado da via, a propagação do ruído mostra-se semelhante às situações de campo livre no lado sem edificações, e incidência da onda sonora nas fachadas lindeiras do lado com edificações.

Figura 58 – Mapa sonoro diurno da av. João Medeiros Filho (RANorte).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

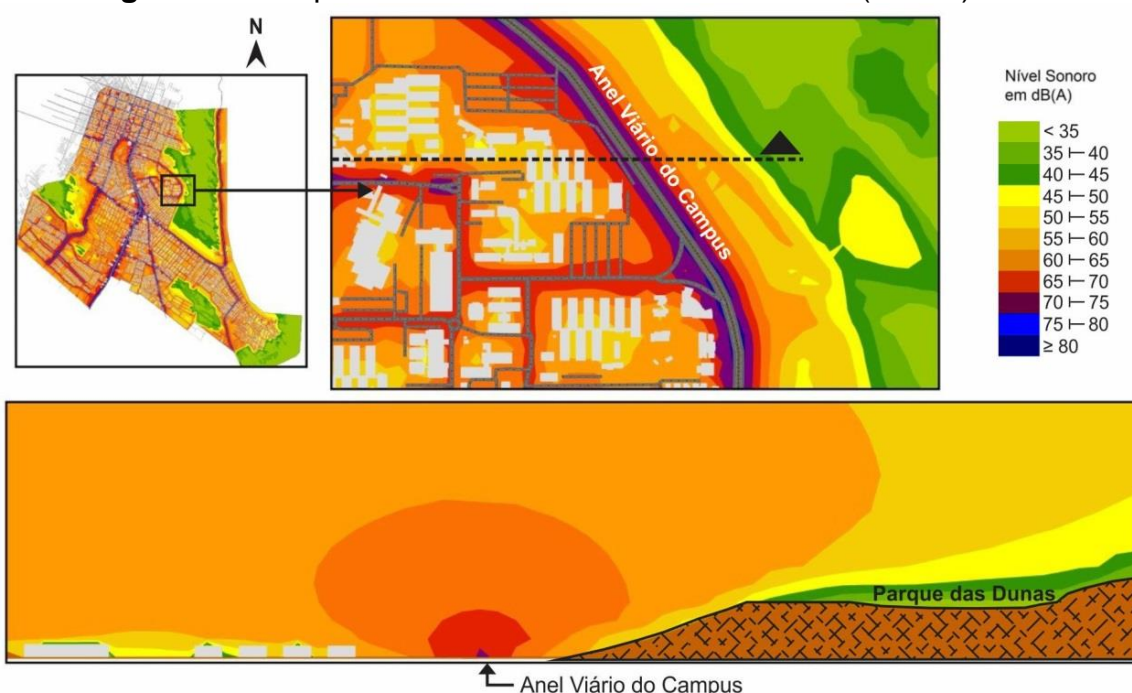
5.5.3.2 Topografia e áreas verdes

Os condicionantes físico-ambientais de topografia e áreas verdes apresentam um diagnóstico a respeito de atributos topográfico, de vegetação e recuos.

Topografia

Na RASul, está localizada o campus central da UFRN, na qual, em seu anel viário, foi identificada uma concentração sonora na via e níveis de 60-65dB incidindo sob a fachada voltada para o setor de aulas (Figura 59). Devido à proximidade entre os blocos, os mesmos funcionam como barreira acústica. No outro lado da via, encontra-se a propagação ao ar livre no Parque das Dunas, que apresenta níveis sonoros mais baixos devido à sombra acústica provocada pela topografia.

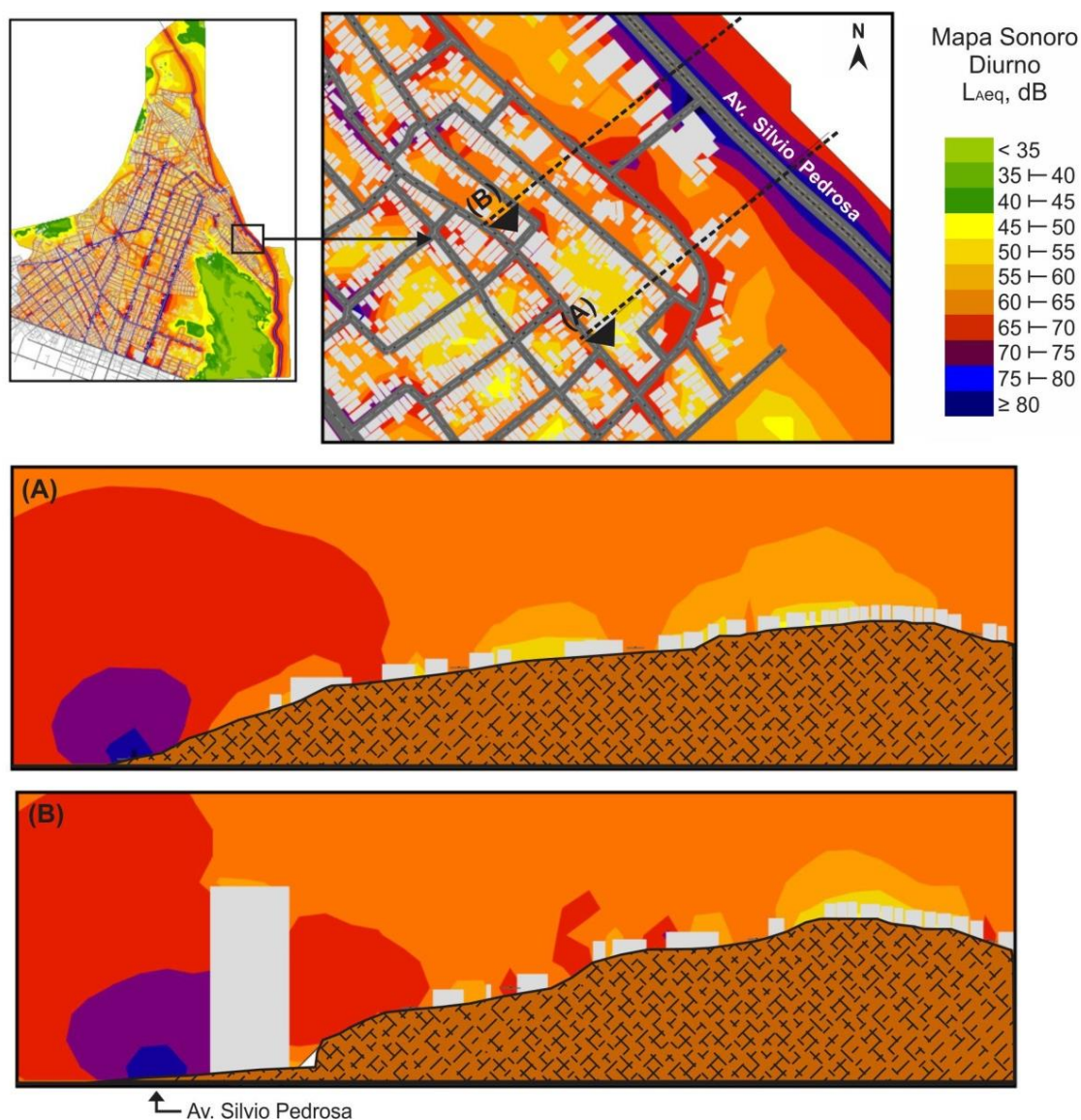
Figura 59 – Mapa sonoro diurno do anel viário UFRN (RASul).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Com relação à topografia acidentada, destaca-se o bairro de Mãe Luiza e Areia Preta, nos quais apresenta a Av. Gov. Silvio Pedroza como fonte linear incidindo sobre a fachada de edifícios localizados em Areia Preta e de edificações em Mãe Luiza (Figura 60). Vale destacar que o edifício se comporta com edifício-barreira à propagação sonora, porém, devido a configuração do edifício e o poder de difração da onda sonora, o ruído da via contorna o edifício, propagando-se também na porção posterior ao mesmo.

Figura 60 – Mapa sonoro diurno av. Silvio Pedrosa (RALeste).

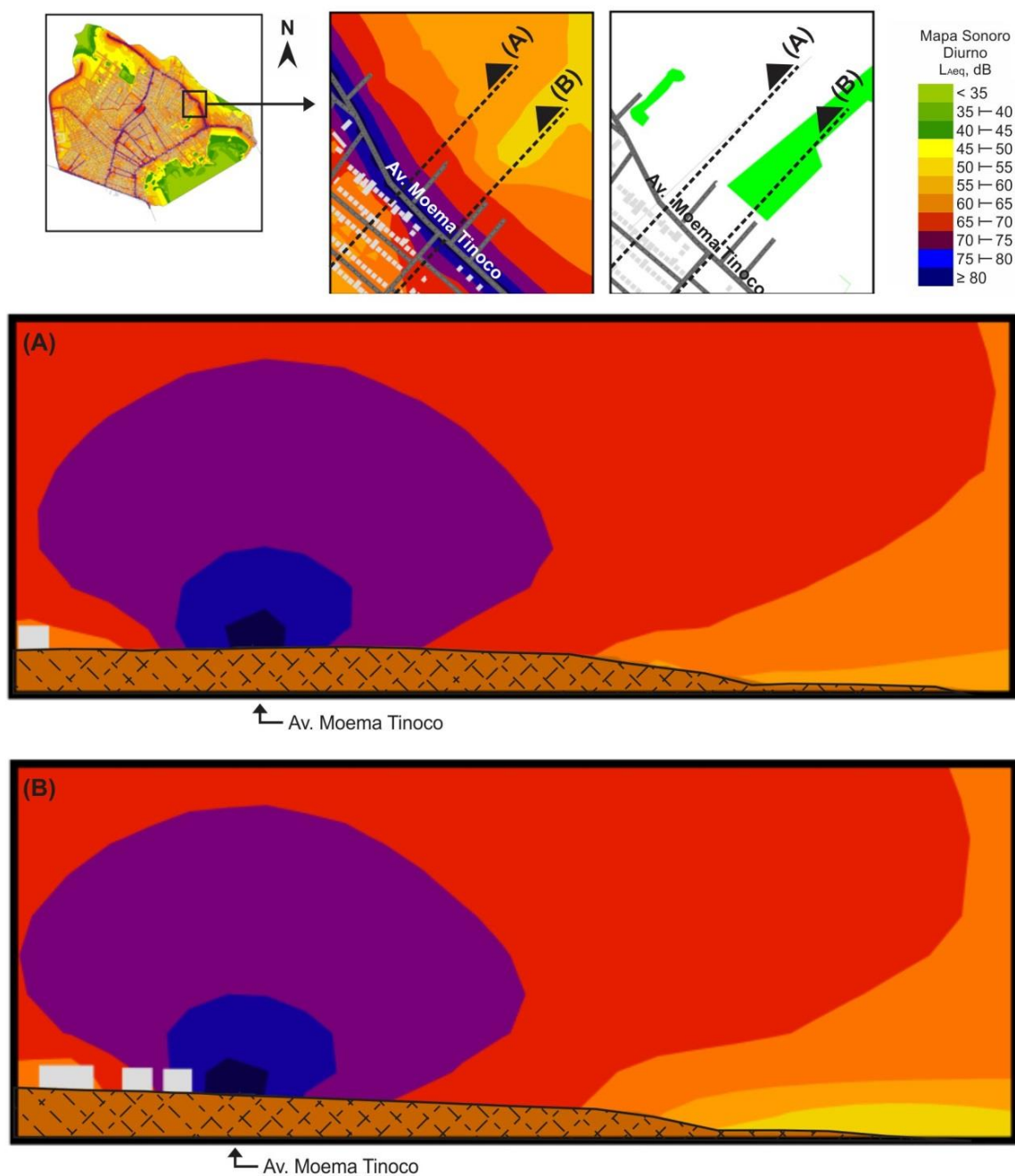


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Vegetação

Os cinturões verdes proporcionam melhorias quanto à propagação sonora devido à atenuação sonora provocada pela arborização. Na Figura 61, compara-se dois cortes, sendo um com (Figura 61A) e o outro sem cobertura vegetal, enfatizando-se a importância do incentivo a arborização, principalmente ao nível do observador/ edificações térreas. A atenuação acústica ocorre próximo ao nível do solo devido a altura efetiva da arborização.

Figura 61 — Mapa sonoro diurno da av. Moema Tinôco (RANorte).



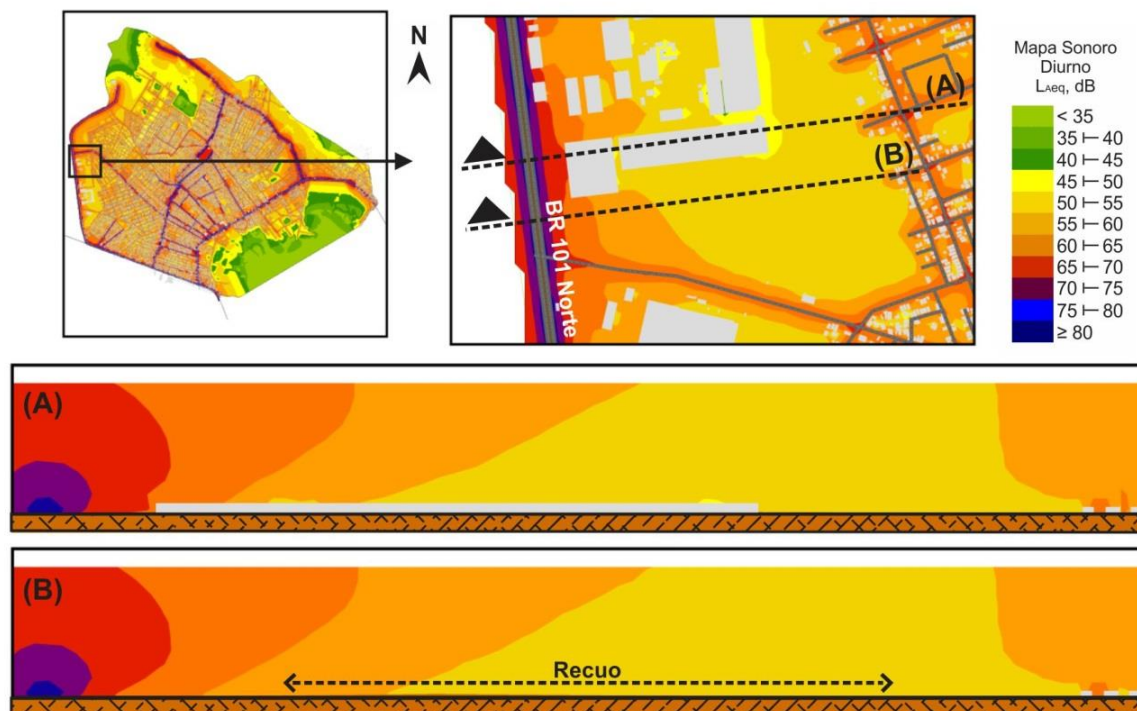
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Recuos

A distância fonte-receptor ocasiona decaimento sonoro devido a absorção do ar atmosférico. A Figura 62 ilustra a propagação sonora no entorno da via para dois casos: edificação de 6m de altura presente na lindeira da via (Figura 62A), e sem edificações (Figura 62B). Como análise, tem-se que,

devido à horizontalidade da edificação e o grande recuo, percebe-se pouca diferença entre ambos os casos, porém a distância ocasiona significativa atenuação sonora para as edificações residenciais localizadas posteriormente.

Figura 62 — Mapa sonoro diurno da BR 101 Norte (RANorte).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

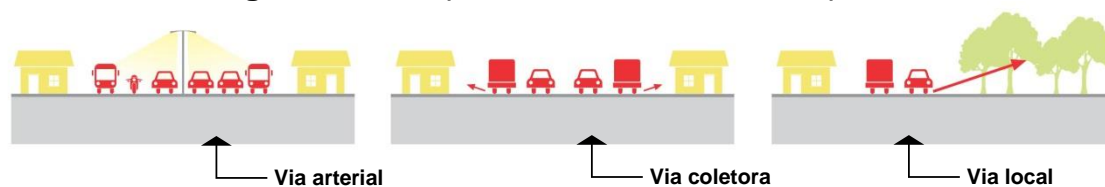
5.5.3.3 Sistema viário e de circulação

Este item trata inicialmente do ruído de tráfego veicular, a fonte sonora. Em seguida a influência dos semáforos na propagação sonora. Por fim, as obras viárias (viadutos e túneis) presentes no município do Natal/RN.

Tráfego Veicular

As vias arteriais, em geral, possuem maior número de faixas e fluxo veicular maior, em seguida as vias coletoras, e por fim as vias locais com tráfego veicular reduzido (Figura 63).

Figura 63 — Esquema de diferentes hierarquias viárias.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

O ruído de tráfego representa a principal fonte de poluição sonora no meio urbano, no qual o fluxo veicular representa a variável que maior influencia os níveis de pressão sonora.

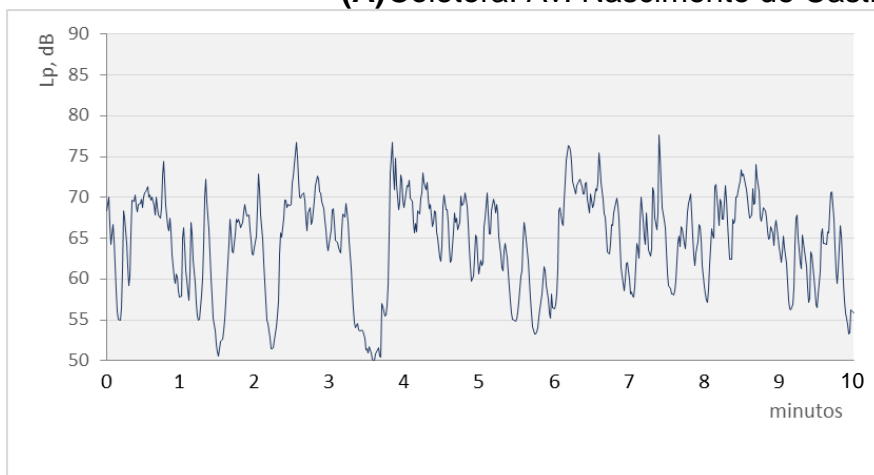
As divergências se evidenciam quando são analisados os níveis de pressão sonora ao longo do tempo, ao comparar uma via arterial com uma coletora (Figura 64). Ao analisar os resultados, percebeu-se, com base no gráfico, que a via coletora apresentou maiores oscilações ao longo do tempo (20dB), provocando o surgimento de picos de níveis de pressão sonora devido às acelerações e frenagem dos veículos, caracterizado como ruído mais intermitente. Já a via arterial possuiu fluxo mais contínuo ao longo do tempo, gerando menores oscilações (10dB).

As grandezas de avaliação mostram os níveis sonoros em função de um determinado tempo, utilizando-se grandezas estatísticas, e são geralmente utilizados para avaliar ruído do sistema de transporte, sobrevoos de aeronaves e linhas ferroviárias.

Numericamente, a via arterial apresenta maiores níveis sonoros, com 76dB de níveis de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), enquanto a via coletora apresenta 68dB. Ao analisar as grandezas de avaliação, percebeu-se que na via coletora o ruído residual (L_{90}) apresenta 55dB e o ruído de pico (L_{10}) 72dB, diferença de 17dB. Na via arterial o ruído residual (L_{90}) resultou em 72dB e o ruído de pico (L_{10}) 80dB, diferença de 8dB. Logo, a via coletora possui maior variabilidade no tempo do que a via arterial.

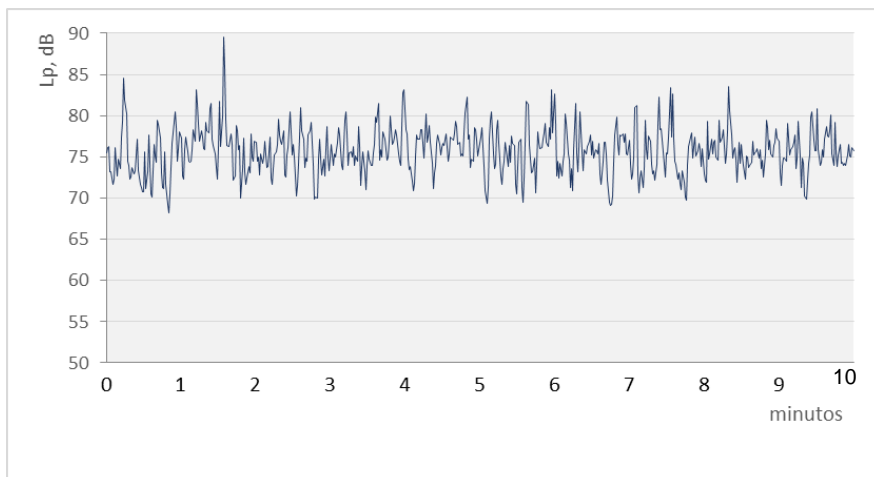
Figura 64 — Gráfico do nível de pressão sonora pelo tempo e grandezas de avaliação.

(A)Coletora: Av. Nascimento de Castro, P40



Grandezas de avaliação	Nível Sonoro em dB
L05	72
L10	71
L50	65
L90	55
L95	53
Max	78
L _{Aeq}	68

(B)Arterial: BR 101 Sul, P38



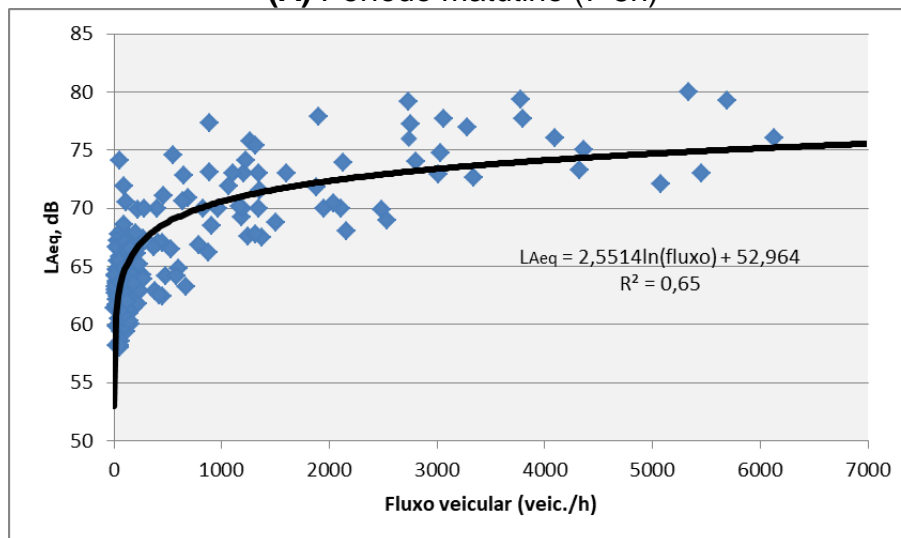
Grandezas de avaliação	Nível Sonoro em dB
L05	80
L10	78
L50	76
L90	72
L95	71
Max	92
L _{Aeq}	76

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

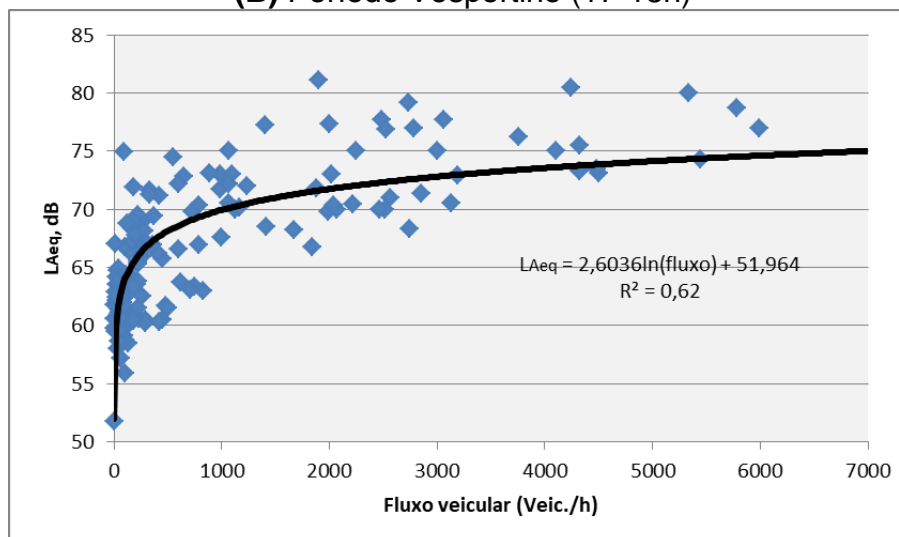
Para estudar a relação entre as medições de fluxo veicular e de ruído, procurou-se identificar um modelo estatístico que permitisse representar a relação dos dados de fluxo veicular e os dados simulados de níveis de pressão sonora no horário de pico dos períodos matutino e vespertino (Figura 65). Para isso, foi realizada uma análise de regressão por meio do gráfico de dispersão e a função linear e logarítmica entre as variáveis, no qual se obteve o modelo com maiores correlações na função logarítmica, possuindo R^2 igual a 0.65 no turno matutino e 0.62 no turno vespertino, indicando forte relação entre as variáveis.

Figura 65 — Gráfico da relação entre níveis de pressão sonora (L_{Aeq} , dB) e Fluxo veicular (veic./h).

(A) Período matutino (7-8h)



(B) Período Vespertino (17-18h)



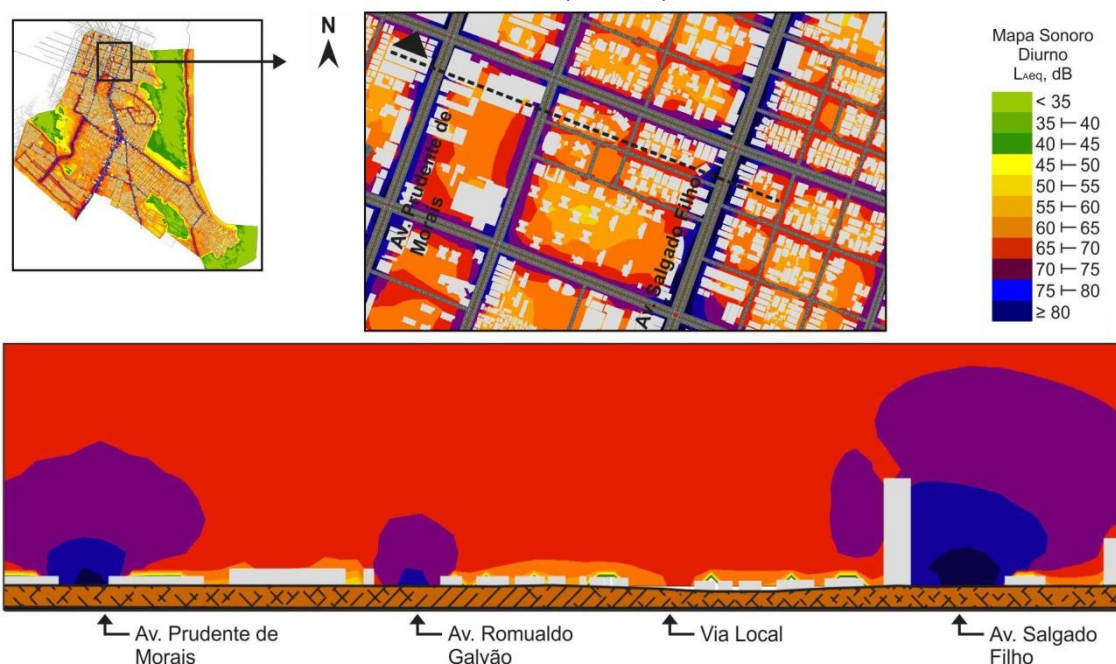
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Assim, a relação entre o nível equivalente de pressão sonora (L_{Aeq}) e o fluxo veicular apresenta que as vias com fluxo inferior a 1.000 veic./h possuem maior variabilidade, nos quais o possível aumento do fluxo veicular ocasiona aumento significativo no NPS.

Para casos de fluxo contínuo (sem engarrafamentos), as vias com fluxo superior a 1.000 veic./h, a exemplo das vias arteriais possuem comportamento sem alteração significativa no nível de pressão sonora, mesmo aumentando seu fluxo veicular.

Ao comparar diferentes tipologias de vias, a Figura 66 apresenta vias com diferentes padrões de hierarquia viária, e consequentemente diferente fluxo veicular. Percebe-se que altos níveis de pressão sonora são emitidos pelas avenidas arteriais (Av. Salgado Filho e Av. Prudente de Moraes) e a avenida coletora Romualdo Galvão, onde a área apresenta-se com elevados níveis de pressão sonora devido à proximidade de vias de alto fluxo.

Figura 66 — Mapa sonoro diurno da av. Salgado Filho e Prudente de Moraes (RASul).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Os níveis de pressão sonora são correlacionados ao fluxo veicular, mas também ao tipo de veículos que circulam nas vias, nos quais os veículos leves produzem menor ruído comparados aos veículos pesados (Figura 67).

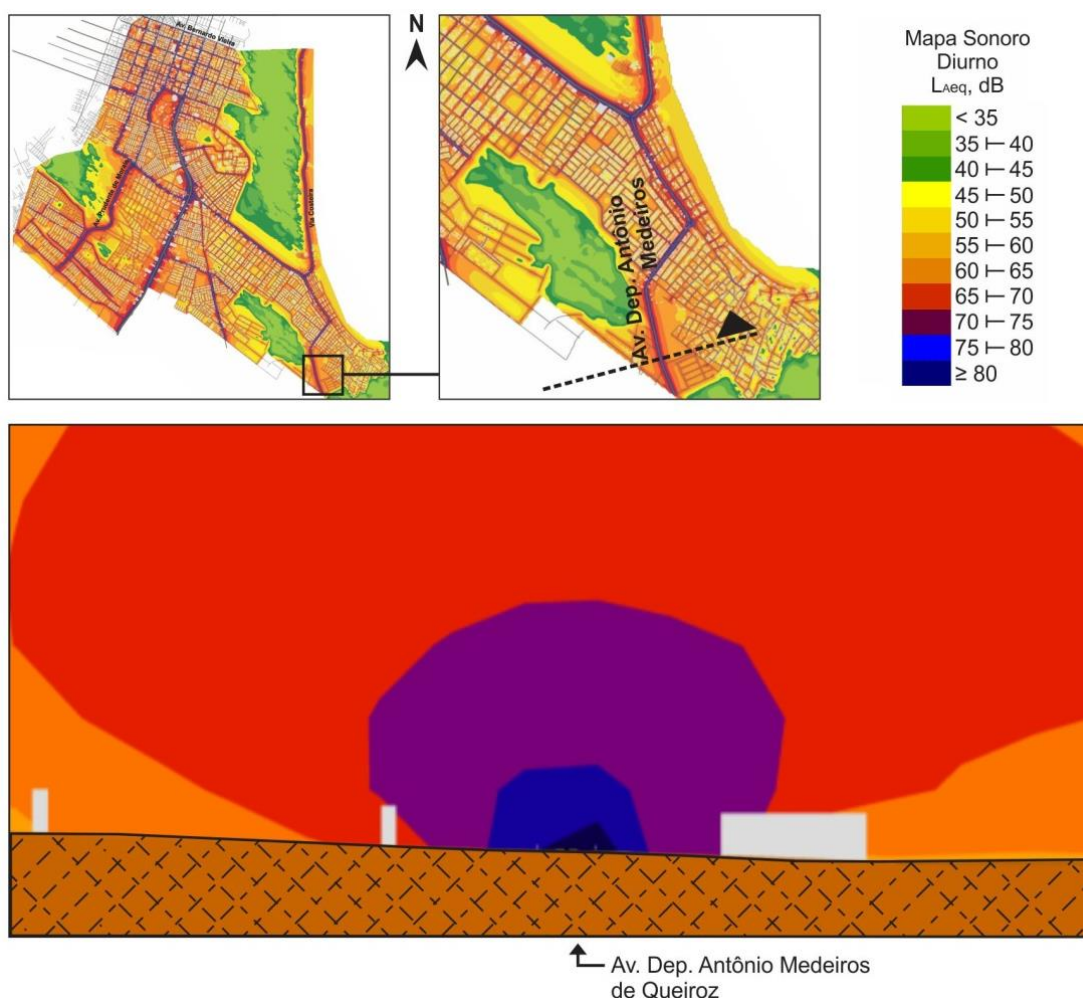
Figura 67 — Esquema entre vias com predominância de veículos leves e pesados

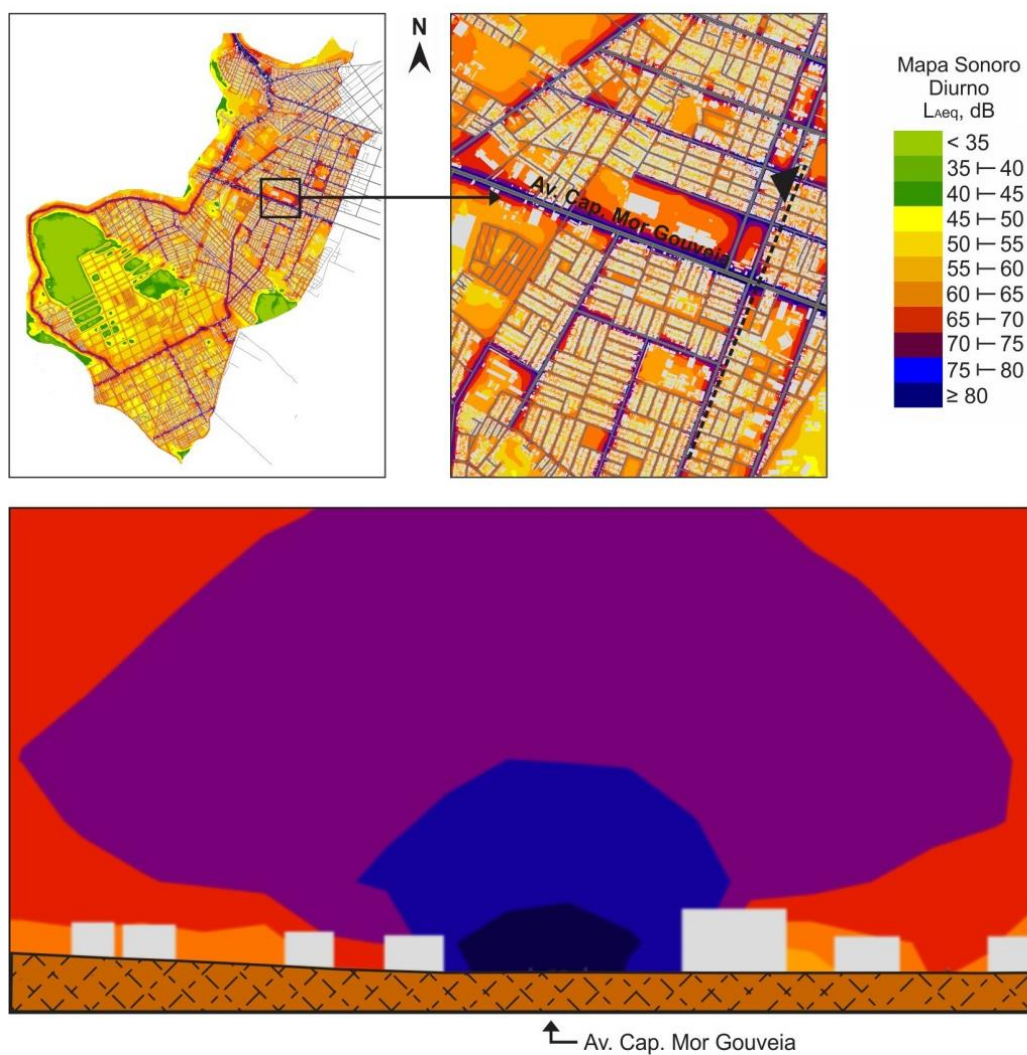


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na Av. Dep. Antônio Medeiros de Queiroz (RAOeste), no horário de pico apresenta fluxo veicular total de 1.677 automóveis, sendo 15% veículos pesados. Já a Av. Mor Gouveia para o mesmo horário, apresenta fluxo veicular total 1.593 unidades, bem semelhante a outra avenida, porém sendo 41% composta por automotores pesados. Ao comparar tais avenidas, percebe-se que, por mais que tenham padrões parecidos, o fato de haver maior quantidade de fluxo veicular pesado, ocasiona aumento de até 10 decibels.

Figura 68 — Mapa sonoro diurno comparando via com fluxo predominante de veículos Leves na Av. Dep. Antônio Medeiros de Queiroz (RASul) e via com predominância de veículos pesado Av. Mor Gouveia (RAOeste).





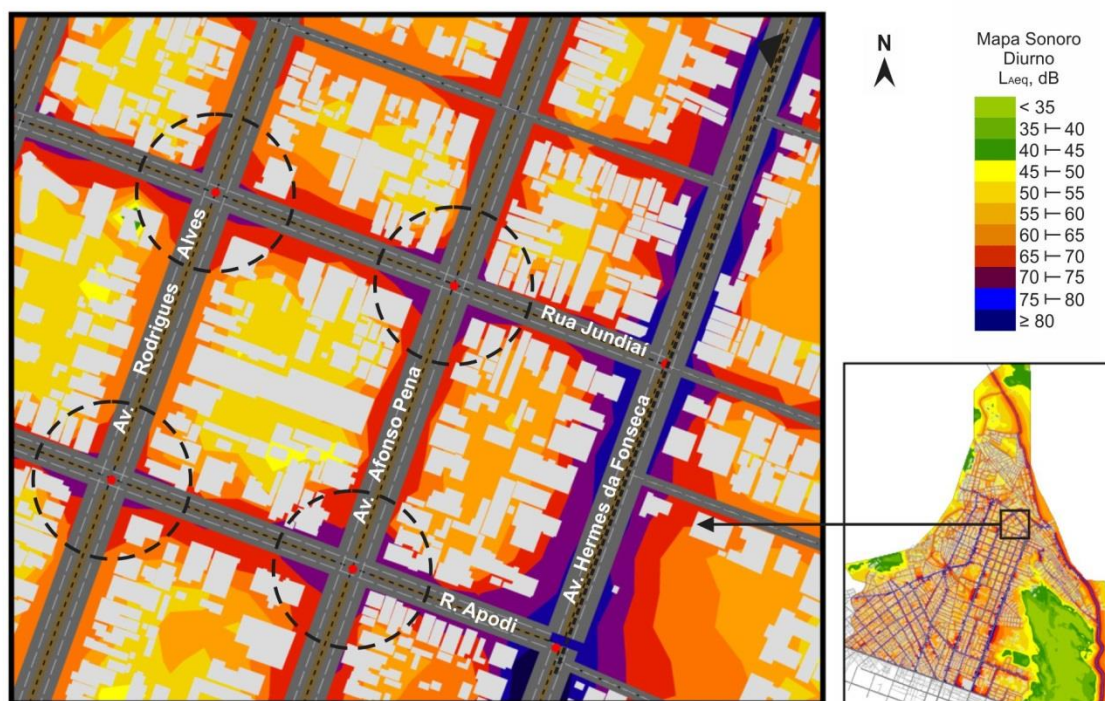
Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Cruzamentos e Semáforos

Com relação ao ruído gerado, a norma RLS-90 (DER..., 1990), considera um incremento de 3dB no nível sonoro para os pontos que se encontram a um raio de distância de 40m do cruzamento semaforizado, de 2dB para distâncias entre 40 e 70m, e de dB para distâncias entre 70 e 100m em relação ao cruzamento (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2008).

Devido à escala local dos cruzamentos, não foi possível visualizar o impacto do aumento do nível de pressão sonora causado pela aceleração e frenagem veicular nos mapas anteriormente apresentados por Região Administrativa e do município do Natal/RN. Na Figura 69, é possível visualizar o impacto causado nos cruzamentos semaforizados no nível local.

Figura 69 — Mapa sonoro diurno de cruzamentos semaforizados no bairro de Petrópolis (RALeste).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Obras viárias – planos elevados e túneis

Com base nos mapas sonoros por regiões administrativas, percebe-se um elevado nível de pressão sonora com valores superiores à 80dB na fonte sonora na presença de viadutos. Em contrapartida, os túneis produziram menor impacto nos níveis de pressão sonora.

Figura 70 — Esquema de comparação entre obra viária tipo túnel e viaduto.

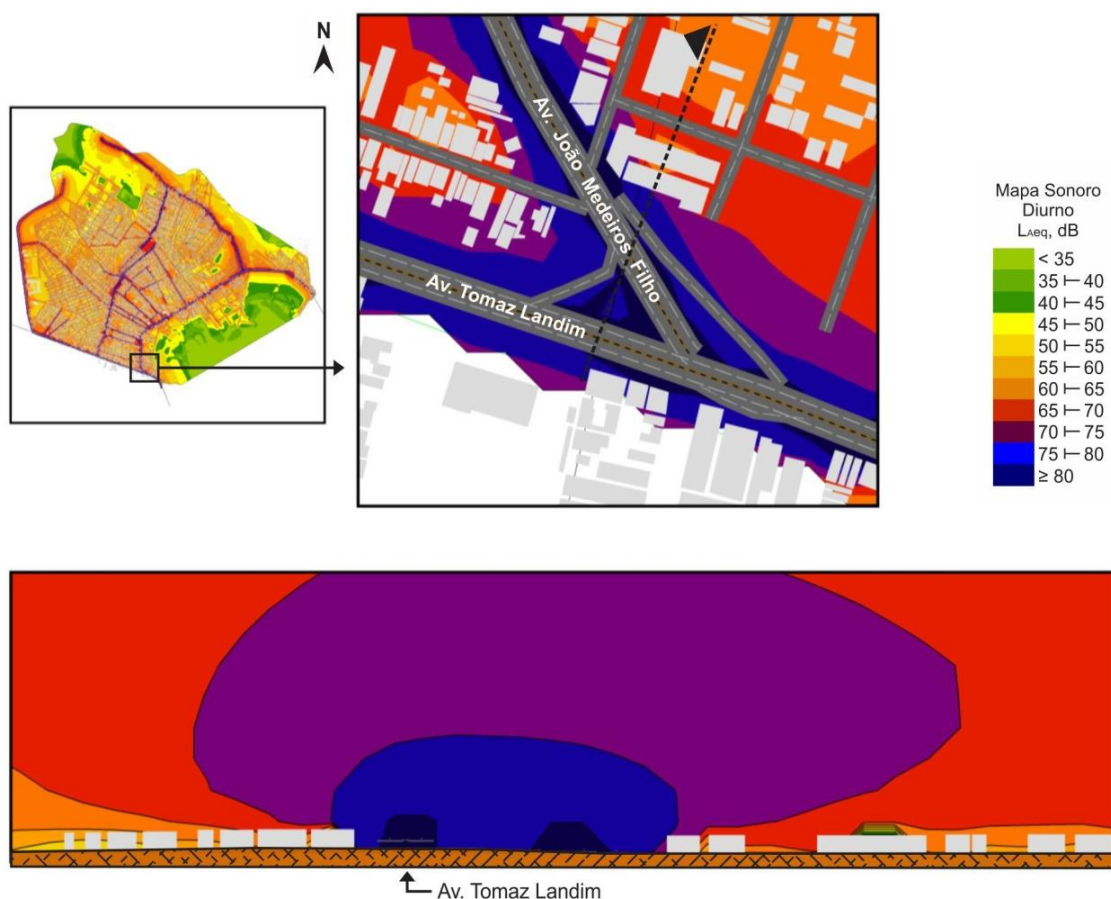


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na RANorte, a Figura 71 apresenta o cruzamento da Av. Tomaz Landim com a Av. João Medeiros Filho, que possui encontro de duas vias de alto fluxo

e à existência de elevação na Av. Tomaz Landim, o que contribui para o aumento da distância do decaimento sonoro. Os níveis de pressão sonora na via e em seu entorno imediato chegam a faixa de 75-85dB.

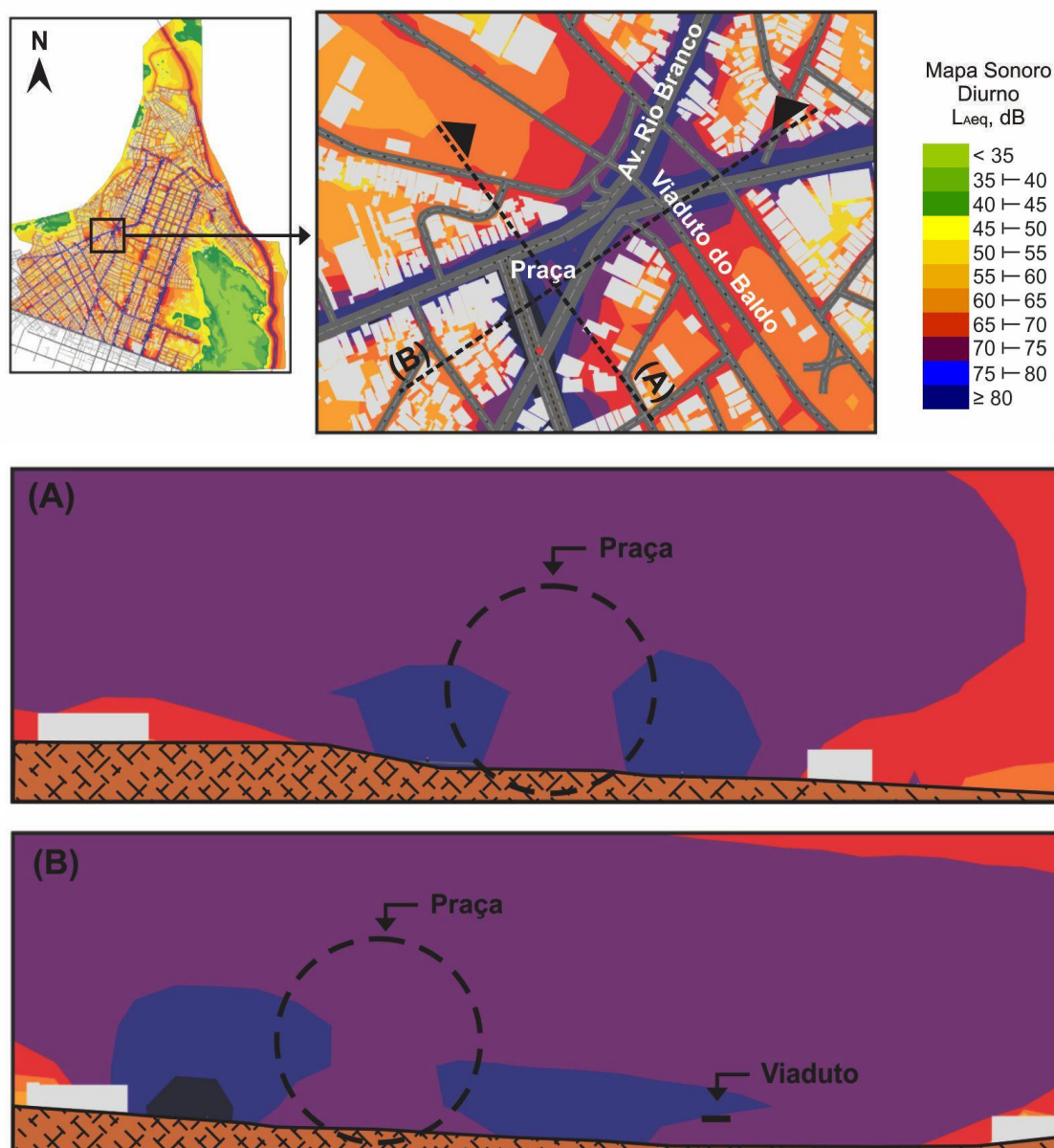
Figura 71 — Mapa sonoro diurno do cruzamento das Avenidas Tomaz Landim e Dr. João Medeiros Filho (RANorte).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na RALeste, está presente o Viaduto do Baldo (Figura 72). Os níveis de pressão sonora na via e seu entorno imediato chegam a níveis de 75-85dB. Percebe-se que há maior nível sonoro no viaduto e nos cruzamentos de vias e retornos. A Praça Marques de Tamandaré, em formato triangular, apresenta níveis de pressão sonora superiores a 70dB devido sua localização entre duas vias de alto fluxo.

Figura 72 — Mapa sonoro diurno do viaduto do Baldo e da Praça Marques de Tamandaré (RALeste).

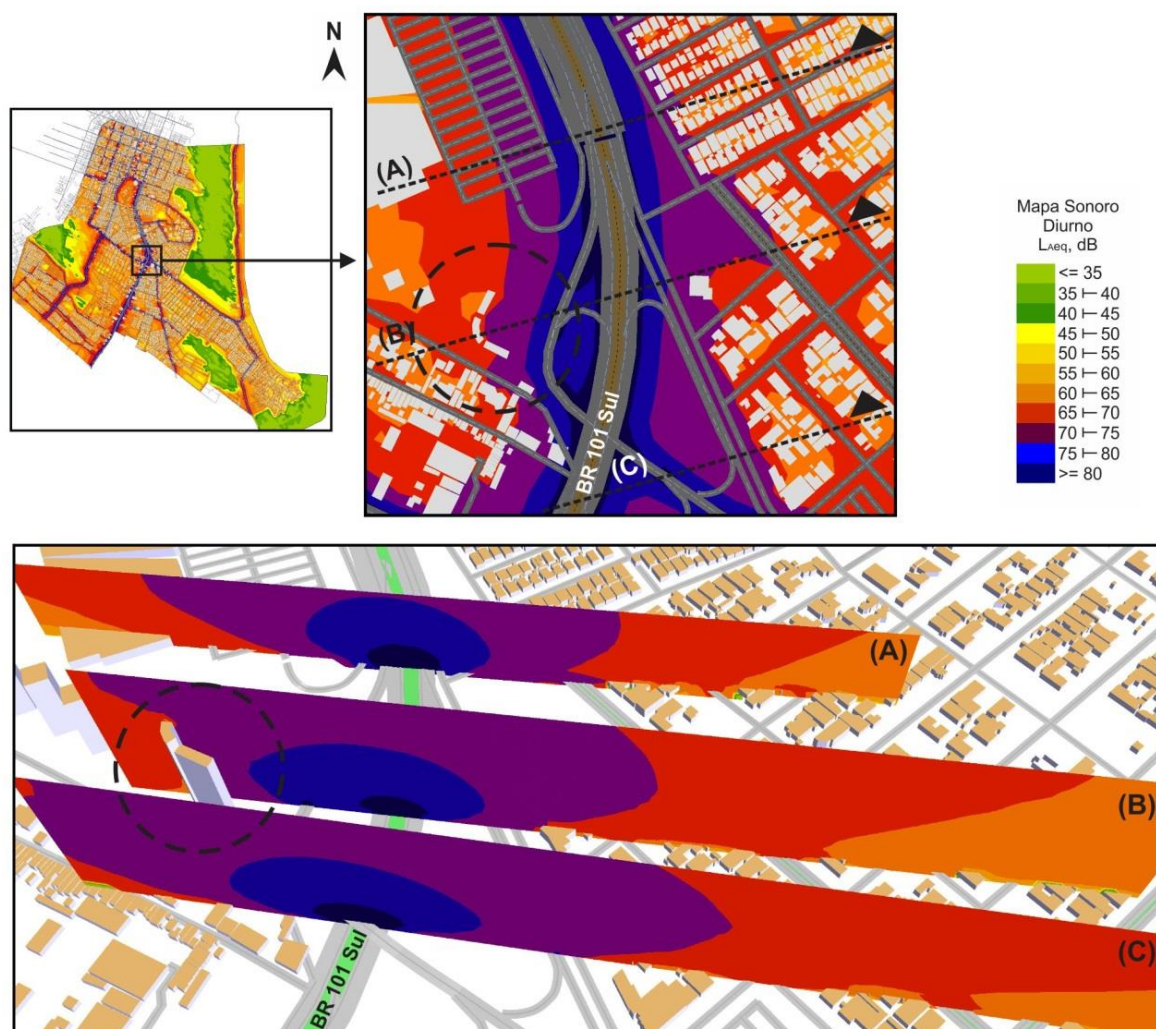


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

A área com maior nível de pressão sonora na RASul foi a interseção da Av. Salgado Filho e Av. Roberto Freire. Os níveis de pressão sonora na via e seu entorno imediato chegam a níveis de 75-85dB. Na Figura 73, percebe-se que há maior nível sonoro no viaduto e nos cruzamentos de vias e retornos, no qual o entorno imediato encontra-se com elevados níveis e mesmo assim, nesta área há uma grande quantidade de edificações, bem como edifícios residenciais. A figura destaca o edifício tipo L próximo ao viaduto no

cruzamento das avenidas Salgado Filho e Roberto Freire que devido ao seu formato, incide maiores níveis de pressão sonora.

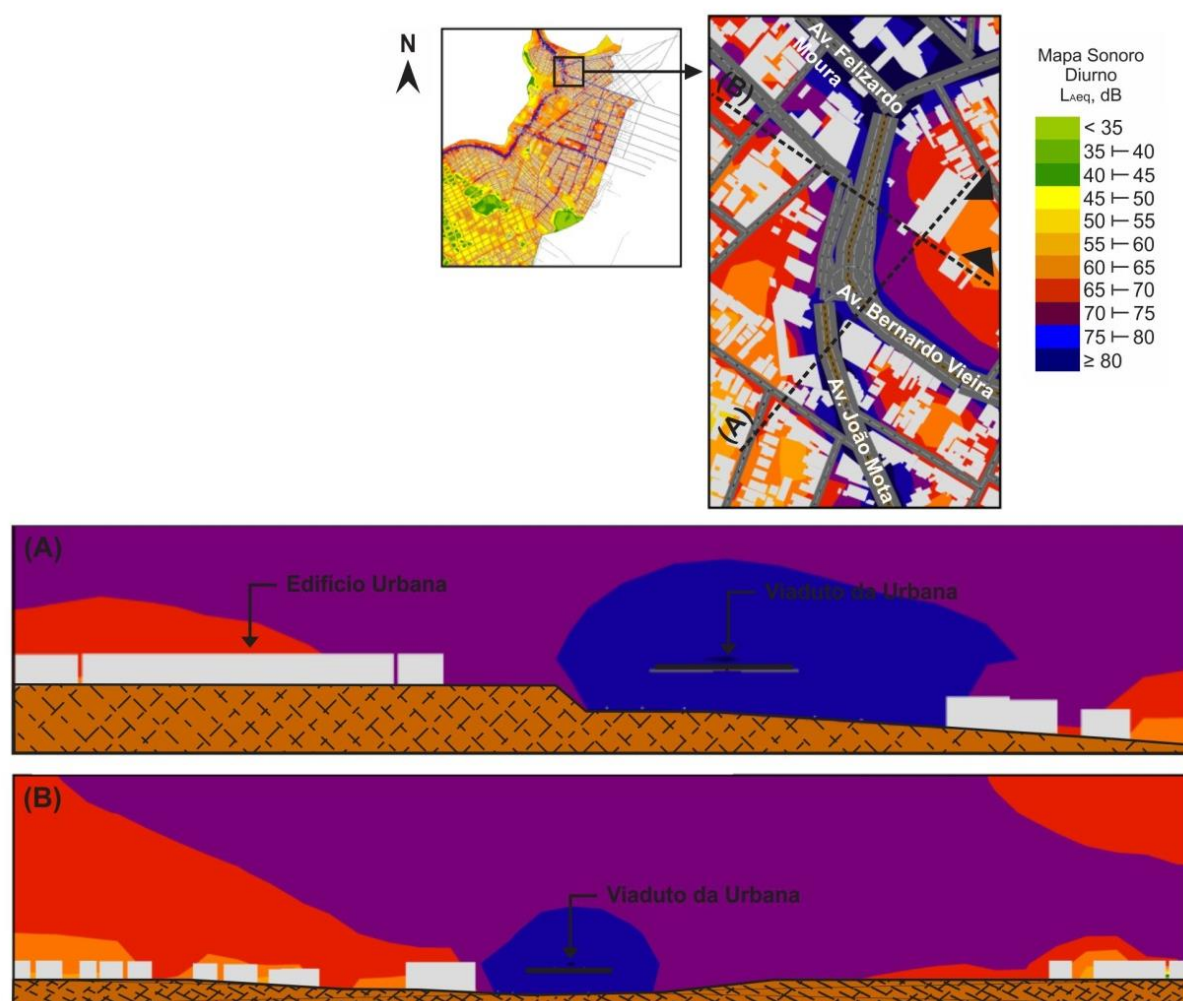
Figura 73 — Mapa sonoro diurno do cruzamento da av. Salgado Filho e av. Roberto freire (RASul).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Por fim, a RAOeste deve destacar o elemento do viaduto da urbana (Figura 74). Os níveis de pressão sonora na via e seu entorno imediato chegam a níveis de 75-85dB. A partir da Figura 74, percebe-se que há maior nível sonoro no viaduto e nos cruzamentos de vias e retornos.

Figura 74 — Mapa sonoro diurno do viaduto da Urbana (RAOeste).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

5.5.3.4 Barreira acústica

Barreiras acústicas são elementos físicos estudados para minimizar os ruídos em áreas que necessitam de maior controle de ruído (Figura 75). Devido seu impacto que pode provocar na paisagem deve-se averiguar a viabilidade de sua implantação.

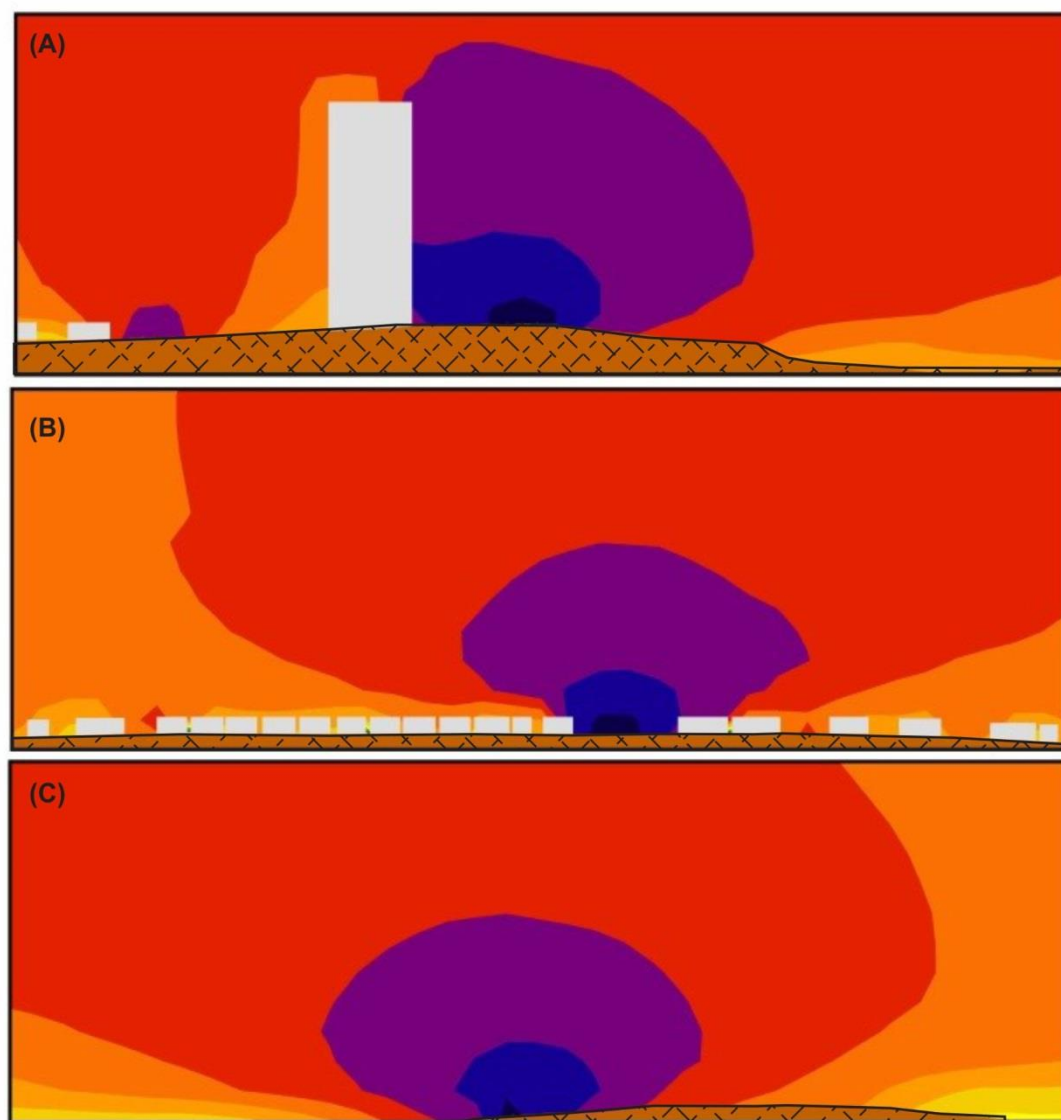
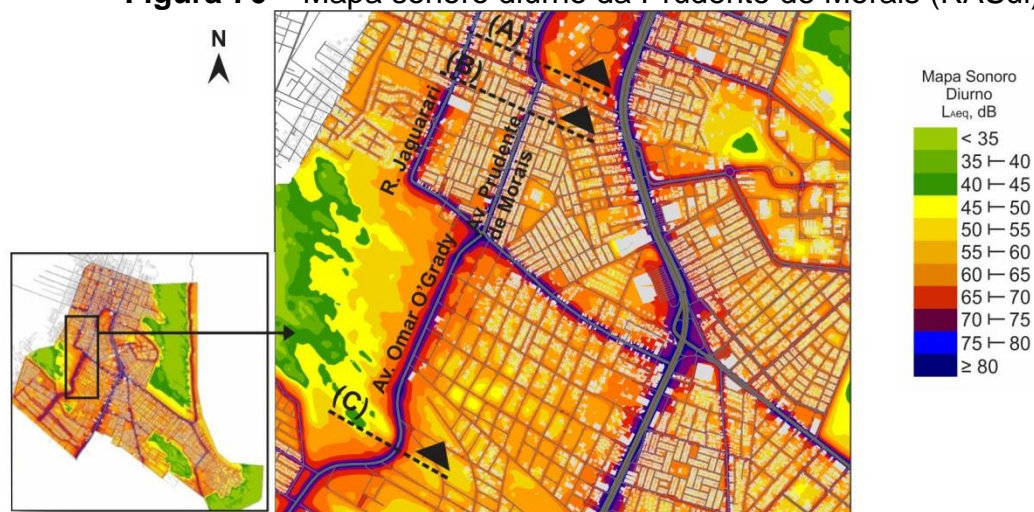
Figura 75 — Esquema de barreira Acústica



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Na propagação sonora em campo aberto, a onda sonora se propaga mais livremente, como pode-se observar na av. Prudente de Moraes próximo ao parque da cidade (Figura 76A). Na mesma avenida, em área com edificações horizontais, percebe-se que os primeiros lotes são os mais atingidos por níveis de pressão sonora mais elevados (Figura 76B). Já a mesma avenida em área densamente edificada, percebe-se que as construções funcionam como campo reverberante tipo “U”, com maior concentração da pressão sonora devido a verticalização na faixa lindeira a via, onde o edifício funciona como edifício-barreira de ruído para os lotes posteriores (Figura 76C).

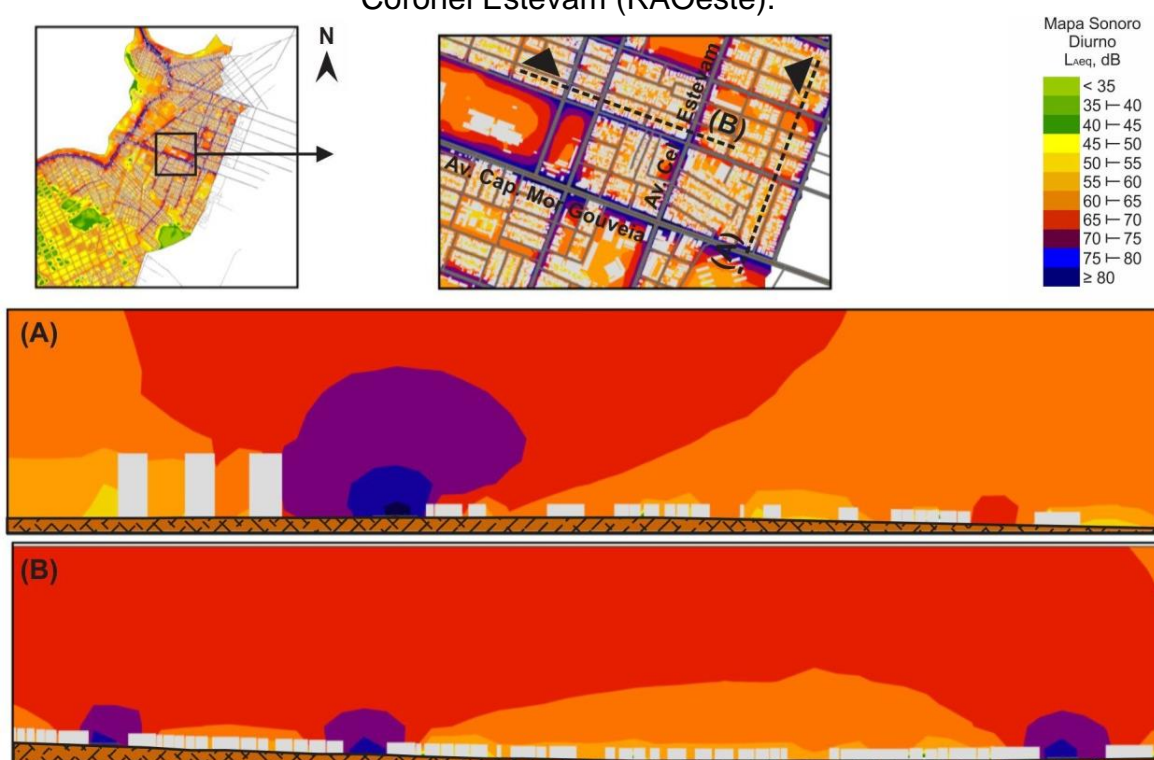
Figura 76 – Mapa sonoro diurno da Prudente de Morais (RASul).



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

O terminal rodoviário de Natal encontra-se na esquina das avenidas Capitão Mor Gouveia e Av. Coronel Estevam. Em sua proximidade, a Av. Interventor Mario Câmara. Na Figura 77, corte A, apresenta-se o corte da Av. Mor Gouveia, via de alto fluxo e com presença de 41% sendo veículos tipo ônibus, caminhão e moto. Dessa forma, tal avenida apresenta elevados níveis de pressão sonora, acima de 70dB. O corte também revela edifícios nas faixas lindeiras das vias (Figura 77, corte A), onde ocorrem múltiplas reflexões e um confinamento das ondas sonoras nas vias, no entanto, tais edificações se comportam também como edifício-barreira, dificultando a livre propagação sonora para as edificações localizadas na parte posterior do mesmo. Na figura 77, corte B, verifica-se que a proximidade de vias de alto fluxo ocasiona níveis de pressão sonora de 65-70dB em áreas com maiores alturas em relação ao solo.

Figura 77 – Mapa sonoro diurno da Av. Capitão Mor Gouveia e Av. Coronel Estevam (RAOeste).

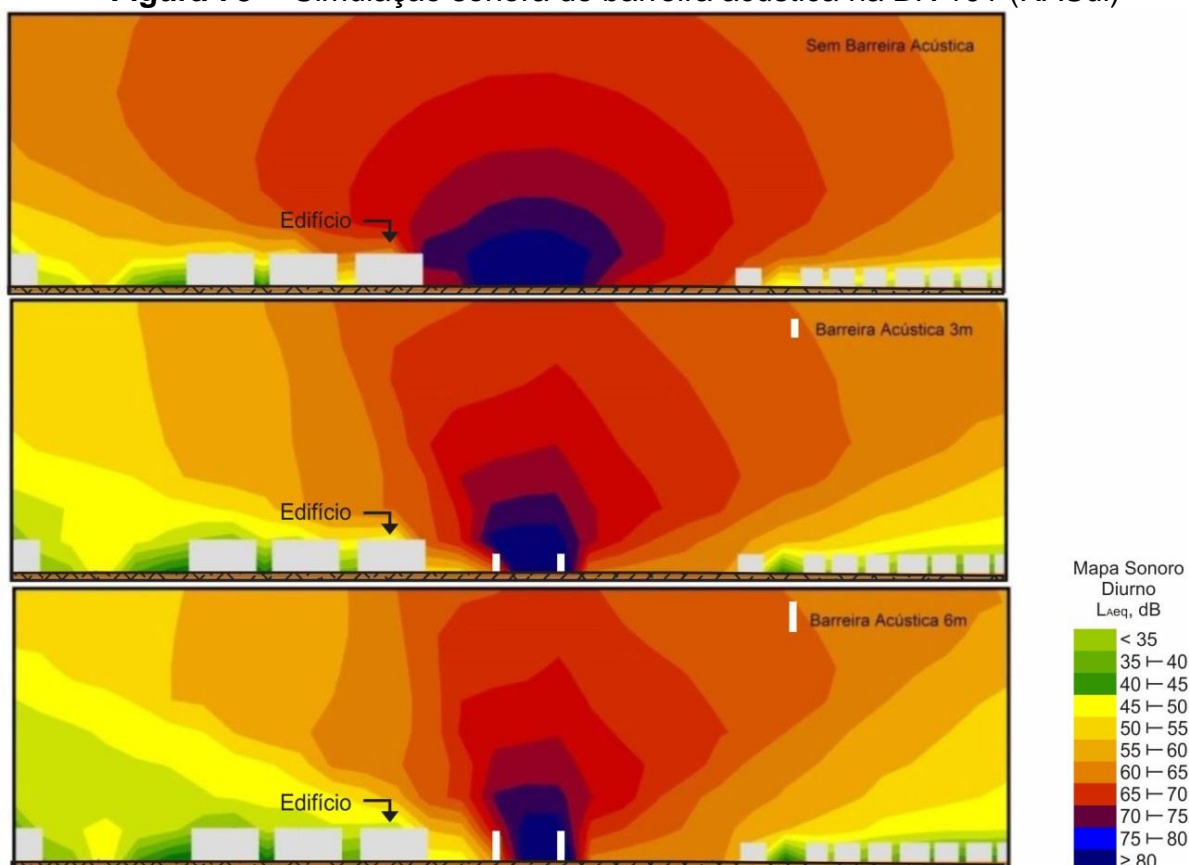


Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Pelo fato de não existir barreira acústica no município do Natal/RN projetada para esse fim, optou-se por fazer uma simulação na BR 101 Sul, onde existem áreas residenciais em sua lindeira, a fim de observar seu impacto.

A barreira pode ser realizada de material opaco ou transparente desde que apresente material estanque, não apresente aberturas, denso e estável. A Figura 78 apresenta três situações hipotéticas: sem barreira, com barreira acústica de três e com seis metros de altura. O corte localiza-se na fachada do edifício A (receptor localizado a 4.5m de altura), onde ocorre incidência de 78dB na fachada voltada para a via. Com a inserção de barreira acústica de 3m, ocorre redução de 10dB na fachada, e com barreira de 6m, ocorre redução de 12dB.

Figura 78 — Simulação sonora de barreira acústica na BR 101 (RASul)



Fonte: elaborado pela autora, 2017.
Nota: intervalo da legenda alterado para 2dB

5.4.4 Diretrizes para planejamento de acústica ambiental para o município do Natal/RN

Com o objetivo de propor diretrizes que auxiliem na melhoria na melhoria da qualidade acústica para o município do Natal/RN, este item apresenta uma síntese do diagnóstico e, em seguida, algumas diretrizes propostas para planejamento de acústica ambiental.

Para o diagnóstico foram utilizados os mapas sonoros e suas respectivas análises. O Quadro 05 apresenta a síntese do diagnóstico acústico ambiental do município do Natal/RN para os condicionantes físicos ambientais que influenciam na acústica ambiental especificado por meio de atributos, sendo:

- Incremento (dB), quantifica o maior impacto dos níveis de pressão sonora encontrado nas análises realizadas;
- Localização/ fonte do incremento, situa onde foi retirada a informação para o incremento em questão;
- Diagnóstico, síntese da caracterização da acústica ambiental encontrada no município do Natal/RN.

A partir das análises realizadas e da síntese do diagnóstico, elaborou-se as diretrizes para planejamento da acústica ambiental, com a finalidade de minimizar o impacto do atributo em relação ao ruído.

O Quadro 06 expõe a síntese das diretrizes de acústica ambiental para o município do Natal/RN. Para isso, foram identificados os mesmo condicionantes e atributos, sendo:

- Diretriz, estratégia para mitigação sonora;
- Aplicação possível, especificação de uma possível forma de aplicação da diretriz;
- Localização da aplicação, área ou via onde se pode aplicar à diretriz no município do Natal/RN.

Quadro 5 – Quadro esquemático do diagnóstico de acústica ambiental para o município do Natal/RN

Condicionantes físico-ambientais	Padrões de ocupação		Topografia e áreas verdes			Sistema Viário e de Circulação			-
Atributo	Uso do solo	gabarito	Topografia	Áreas verdes	Recuos	Tráfego veicular	Semáforos	Obras viárias	Barreira acústica
Incremento (dB)	10dB	10dB	<5dB	-0,15 dB/m	-5dB a cada 20 a 100m		3dB	5dB	10dB
Localização/ Fonte do incremento	Faixa lindeira de vias arteriais onde há presença de edifícios residenciais	Faixa lindeira de vias arteriais nos quais edifícios verticalizados funcionam como barreira acústica	Áreas com sombra acústica em perfis topográficos acidentados, próximo ao nível do solo	Padrão estabelecido para atenuação sonora das áreas verdes	Propagação sonora ao ar livre, a depender do intervalo do nível de pressão sonora, apresenta diferentes decaimentos sonoros	As vias por serem a própria fonte sonora, são a geradoras do ruído, com destaque as vias com predominância de veículos pesados	Incremento de 3 dB no nível sonoro	Incremento do nível sonoro em todos os viadutos	Simulação em barreira de 3m
Diagnóstico	Através da profundidade do impacto, as vias arteriais na faixa 0-100m possuem níveis sonoros inadequados ao uso residencial	Edificações em altura podem funcionar como barreira acústica	Vias rebaixadas e perfis topográficos acidentados ocasionam sombra acústica próximo ao solo	A vegetação favorece atenuação sonora, principalmente para edificações térreas protegidas por maciços de vegetação	Pode provocar decaimento sonoro de até 5dB em 20m	Presença de rotas de ônibus em áreas com predominância residencial, no qual ocasionou maior fluxo de veículo pesado	Aumento local dos níveis sonoros próximo aos cruzamentos semaforizados	Alto incremento sonoro na presença de viadutos. Baixo incremento na presença de túneis	Eficaz para mitigação sonora em faixas lindeiras de vias de alto fluxo veicular

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Ainda sobre o Quadro 06, com relação aos padrões de ocupação tem-se como diretriz a criação de zonas acústicas, definidas de acordo com os níveis de pressão sonora permitidos para cada uso conforme NBR 10151 (ABNT, 2000), mediante o estudo de restrições de uso e ocupação e definição de gabaritos. A criação de zonas de amortecimento acústico correspondem a faixas lindeira das vias que podem separar níveis mais restritivos de pressão sonora dos mais protegidos ao ruído de tráfego veicular. Para isso, faz-se necessário um plano de ação das características físicas da área, podendo determinar, inclusive, a forma e implantação das construções com base em características pré-definidas. Essa medida aplica-se primordialmente a restrição de uso residencial em vias arteriais e coletoras nas faixas lindeiras do meio fio até 100m de profundidade.

Topografia e áreas verdes estão inseridos na trajetória da propagação sonora. Com a finalidade de mitigar os impactos provocados pelo sistema viário, enfatiza-se barreiras topográficas em lindeira de vias que servem como barreira acústica natural, preservação da arborização (particularmente nas ZPAs) e incentivo a arborização próximo as vias coletoras e arteriais com o objetivo de proporcionar o conforto térmico e acústico aos seus usuários.

O planejamento do sistema viário e da circulação deve ser a primeira etapa de controle dos níveis de pressão sonora tendo em vista que é a própria fonte. Pelo diagnóstico da cidade universo de estudo constatou-se que o atual sistema de transporte público se encontra ineficiente quanto ao controle de ruído. Dessa forma, sugere-se: a) melhorias de conforto térmico e acústico em seus passeios; b) transporte público atrativo e eficiente com a finalidade de minimizar o fluxo veicular pesado; c) controle do fluxo veicular em vias locais e coletoras e d) Evitar implantar viadutos próximos às áreas residenciais constituem-se medidas de planejamento para mitigação sonora.

Por fim, reforça-se a importância de se implantar barreira acústica, principalmente em vias arteriais com áreas residenciais, sendo necessário estudo específico de sua aplicabilidade quanto ao impacto da paisagem, seu material e dimensionamento.

Quadro 6 – Quadro esquemático das diretrizes de acústica ambiental para o município do Natal/RN.

Condicionantes físico-ambientais	Padrões de ocupação		Topografia e áreas verdes		Sistema Viário e de Circulação				-
Atributo	Uso do solo e gabarito	Edifício	Topografia	Áreas verdes	Pedestres	Bicicleta	Veículos automotivos/pavimentação	Obras Viárias	Barreira acústica
Diretriz	Zonear ocupação do solo.	Isolamento do edifício.	Barreiras topográficas em lindeira de vias.	Estímulo à arborização.	Melhorias de conforto térmico e acústico em passeios.	Transporte público atrativo e eficiente. Controle do fluxo veicular em vias locais e coletoras.		Evitar implantar viadutos próximo às áreas residenciais.	Proteção acústica por barreira em áreas residenciais.
Aplicação possível	Zonas de amortecimento com edificações de uso comerciais/serviço/industriais como edifício-barreira.	Aplicação da norma de desempenho NBR 15.575 /2013.	Projeto de vias com rebaixamento do perfil topográfico.	Preservação nas ZPA's e arborização. Incentivo a arborização próximo as vias coletoras e arteriais.	Incentivo de vias pedonais. Políticas de arborização.	Criação de novas ciclofaixas e ciclovias.	Rota de veículos silenciosos em áreas residenciais. Incentivo para implantação de VLTs ou metrô. Fiscalização de veículos ruidosos. Pesquisa de materiais de pavimentação com a menor geração de ruído. Plano de manutenção das pavimentações.	Incentivo a implantação de túneis. Rede de semáforos inteligentes.	Implantar barreira acústica em áreas residenciais.
Localização da aplicação	Lindeiras das vias arteriais e BR.	Para novas construções.	Áreas de expansão da cidade.	Todo o município.	Vias arteriais com uso comercial na faixa lindeira de 100m.	Vias coletoras compridas e largas.	Todo o município.	Áreas de expansão e novas obras viárias.	Lindeiras das vias arteriais e BRs.

Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Nota: As diretrizes foram definidas somente para a mitigação dos níveis de pressão sonora.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As normas e legislações têm papel fundamental na forma de ocupação e planejamento nas cidades. A norma de desempenho 15575 (ABNT, 2013), a NBR 10151 (ABNT, 2000), a diretiva europeia 2002/49/CE (UNIÃO EUROPÉIA, 2002) e os procedimentos para elaboração de estudos de impacto ambiental e de vizinhança revelam uma crescente preocupação com o conforto acústico das comunidades. No entanto, ainda existe um descompasso entre determinações legais e práticas realizadas na gestão da poluição sonora.

Nesse contexto, é necessário que sejam elaborados estudos para acústica ambiental com a finalidade de aplicar estratégias de planejamento urbano com base em especificidades locais. Para isso, os mapas sonoros apresentam-se como ferramenta em *softwares* de simulação computacional, capazes de quantificar dados de níveis de pressão sonora e representar graficamente a propagação sonora.

Para a realização da pesquisa, todos os objetivos propostos foram realizados e os atingidos são descritos a seguir:

- O objetivo proposto “elaborar o mapa sonoro do município de Natal/RN” foi atingido a partir da elaboração do mapa sonoro horizontal de todo o município para o horário diurno (7-22h), pico matutino (7-8h) e pico vespertino (17-18h), mapa sonoro por regiões administrativas e diversas áreas específicas; além de mapas sonoros verticais (cortes) e em 3D;
- Em “analisar a relação entre a acústica ambiental e fluxo veicular”, o objetivo foi alcançado pelo uso de metodologia para inserção de dados de fluxo veicular, a calibragem do modelo, assim como nos resultados através da correlação dos dados acústicos com dados de tráfego;
- O objetivo proposto “confrontar a situação sonora de Natal/RN com a legislação sonora vigente”; foi efetivado nos dados de medições *in loco* e dos mapas sonoros, nos quais foi possível confrontar a legislação com a situação sonora, inclusive especializar os níveis sonoros de excedência;
- Com a finalidade de “avaliar a profundidade do impacto do ruído das

vias nos lotes lindeiros” foi quantificado no mapa acústico as áreas referentes à profundidade do impacto por meio de dados das faixas lindeiras (meio-fio a 100m, 100-200m e 200-300m) das vias coletoras e arteriais;

- Por fim, no objetivo proposto “propor diretrizes que auxiliem em uma melhor qualidade acústica para a cidade” foram propostas as diretrizes de planejamento capazes de mitigar a poluição sonora, separadas em atributos que interferem na acústica ambiental.

Em relação à contagem de tráfego veicular, verificou-se que as avenidas arteriais possuem maior fluxo veicular horário com média de 2.165 veículos no pico matutino (7-8h) e 2.490 veículos no pico vespertino (17-18h). As vias coletoras apresentaram fluxo veicular com média de 1.084 veículos no horário de pico matutino (7-8h) e 1.289 veículos no horário de pico vespertino (17-18h). Já para as vias locais, constatou-se que o fluxo veicular apresenta média de 174 veículos no horário de pico matutino (7-8h) e 139 veículos no horário de pico vespertino (17-18h).

Sobre os níveis de pressão sonora coletados *in loco*, observou-se que as vias arteriais apresentaram índices mais elevados quando comparadas às demais vias da cidade, com dado coletado máximo de 77dB na BR 101 Sul (RASul) e dado mínimo de 60dB na rua local João Mota (RASul). Ao analisar os resultados, observou-se que os níveis de pressão sonora resultantes nos 27 pontos de medição, nos períodos matutino e vespertino, encontram-se acima dos parâmetros recomendados pela norma 10151 (ABNT, 2000) para áreas mistas residenciais.

O mapa sonoro de áreas com excedência de níveis de pressão sonora apresenta que 75,4% do município do Natal/RN, encontra-se com nível de pressão sonora diurno (L_{Aeq} , 7-22h) acima aos 55dB recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) – se considerado para o período diurno em áreas mistas residenciais –, e 15.3% excedente a 65dB conforme recomendação a exposição nível de pressão sonora diurno da Organização Mundial de Saúde (OMS, 1999).

Com relação à profundidade do impacto das vias arteriais e coletoras, na faixa lindeira de 0-100m as vias arteriais possuem 95,8% e as vias arteriais+coletoras 32,6% acima dos 65dB. Já na faixa lindeira 100-200m as vias arteriais possuem 38,8% e as vias arteriais+coletoras 3,9% acima dos 65dB. E na faixa lindeira 200-300m as vias arteriais possuem 3,2% e as vias arteriais+coletoras 0.6% acima dos 65dB. Isso revela grande disparidade entre as faixas lindeiras, conclui-se que a faixa imediata 0-100m das vias arteriais se destacam por quantidade de áreas bem maiores expostas a níveis de pressão sonora elevados. Os mapas sonoros demonstram que:

- Áreas sem presença de edificações na faixa lindeira da via apresenta decaimento sonoro mais lento. No entanto, em áreas com edificações presentes nas lindeiras das vias, desvelam maior impacto dos níveis de pressão sonora aos usuários das edificações;
- Os menores níveis de pressão sonora foram identificados em zonas de proteção ambiental, ocupada pela fauna, em que são necessários baixos níveis de pressão sonora com a finalidade de permitir a correta adaptação das espécies e evitar seu afugentamento. Baixos níveis de pressão sonora também foram encontrados em meios de quadras, distantes de vias arteriais e coletoras;
- Os maiores níveis de pressão sonora foram encontrados nas proximidades dos viadutos, os quais promovem maior dinamismo no tráfego e apresentam a elevação da fonte sonora;
- Os semáforos, a nível local ocasiona aumento dos níveis sonoros nos cruzamentos, com nível de pressão sonora mais concentrado nas vias;
- Nas avenidas arteriais, se concentram grande quantidade de usos de comércio e serviço, o que elevam de forma substancial os conflitos com o tráfego no seu entorno;

A partir de uma análise do espaço urbano, notadamente do ponto de vista acústico, pode-se identificar os principais componentes que influenciam na acústica ambiental, e o que pode ser feito para melhorar a qualidade sonora do ambiente construído. As melhorias poderão ser desenvolvidas em relação à fonte sonora, o meio de propagação e ao receptor, no qual permitirá elementos

que auxiliarão projetistas e órgãos públicos na escolha de diretrizes ou medidas corretivas para a minimização dos níveis de pressão sonora. Nesse sentido, tem-se como diretrizes de planejamento ambiental:

- Zonear ocupação do solo a partir de estímulo de uso comercial e serviço na lindeira (meio fio a 100m) das vias arteriais e coletoras, já que no uso residencial são recomendados níveis mais baixos de pressão sonora. Além disso, definições de formas e implantação de lotes a serem ocupados;
- Instalar transporte público atrativo e eficiente com incentivo ao transporte de massa e desestímulo ao veículo de transporte individual por meio de medidas planejadas no nível municipal;
- Evitar implantar semáforos e viadutos próximos às áreas residenciais e diminuição da quantidade de semáforos e viadutos por meio da realização de obras de mobilidade. Essas intervenções objetivam melhorar a fluidez do tráfego e, conseqüentemente, a diminuição do nível de pressão sonora produzido pelo mesmo;
- Estimular à arborização com o aumento da área verde, de preferência com a criação de grandes cinturões com, no mínimo, 30 metros de profundidade, distribuídas uniformemente no município, principalmente nas áreas que possuem poucas áreas verdes, com espécies arbustivas e arbóreas densas;
- Criação de barreira acústica com a utilização de elementos verticais, topografia mais elevada ou edifício-barreira ao longo das vias com a finalidade de diminuir o nível de pressão sonora utilizando-os como sombras acústicas. Em áreas de saturação viária, criar barreira acústica para proteção de áreas residenciais. No plano de mobilidade para concepção de novas vias, utilizar perfis topográficos do solo como medida para criação de barreira acústica natural. Sugerir aos projetistas das novas edificações de, durante a implantação, gerar um partido arquitetônico que privilegie as áreas de sombra acústica, as quais permitem menor nível de pressão sonora.

Por fim, conclui-se que mapas sonoros são ferramentas capazes de promover o fomento de estratégias de mitigação da acústica ambiental, na medida em que permitem a visualização do impacto.

Recomenda-se a municipalidade aplicar estratégias para conforto acústico em determinações legais, dentre eles na revisão do plano diretor. Desenvolver mapa sonoro que considere além da fonte de tráfego viário, o ruído ferroviário e aéreo, áreas industriais, além de empreendimentos cujas emissões de ruído podem se tornar alvos de denúncias de poluição sonora e descumprimento das normas.

Além disso, propõe-se a revisão da norma estadual de poluição sonora, assim como a criação de um plano de ação de mitigação do ruído veicular no município do Natal/RN.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151:** acústica – avaliação do nível do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **NBR 10152:** Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 15575:** Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ANDERSON, G; KURZE, U. Outdoor sound propagation. In: Beranek L .L., Vér (ed.). **Noise and Vibration control engineering:** principles and applications. New York: J. Wiley, 1992.

ARAÚJO, B. C. D.. **Aplicação de método de Análise Bioclimática como ferramenta para intervenção em Centros Históricos:** estudo de caso no bairro da Ribeira em Natal/RN, 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.

BALZAN, K. **Avaliação do ruído de tráfego veicular em área central de Chapecó – SC.** 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

BERNATZKY, A. **Tree ecology and preservation.** New York: Elsevier Scientific, 1978.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído.** 2. ed. São Paulo: Edgard Bugher, 2011.

BRASIL . **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

_____. Resolução CONAMA nº. 001, de 08 de março de 1990a. Dispõe sobre critério e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 abr. 1990. Seção 1, p. 6408. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>>. Acesso em: 15 out. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº. 002, de 08 de março de 1990b. Institui em caráter nacional o programa Nacional. Educação e Controle da Poluição

Sonora - "SILÊNCIO". **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 abr. 1990. Seção 1. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0290.html>>. Acesso em: 15 out. 2015.

_____. Lei nº 6515, portaria nº 3214, **NR 15**, 1990c. Dispõe sobre Atividades e Operações Insalubres. Disponível em <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-15-atividades-e-operacoes-insalubres>. Acesso em: 15 out. 2017.

_____. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 ago. 1997. Seção 1. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm>. Acesso em: 18 out. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº 272, de 14 de setembro de 2000. Dispõe sobre os limites máximos de ruído para os veículos nacionais e importados em aceleração, exceto motocicletas, motonetas, ciclomotores e veículos assemelhados. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 jan. 2011. Seção 1. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=270>>. Acesso em: 15 out. 2017.

_____. Lei nº 10.406 de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 jan. 2002. Seção 1, p. 1. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2002/lei-10406-10-janeiro-2002-432893-norma-pl.html>>. Acesso em: 18 out. 2015.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf> Acesso em: 28 nov. 2016.

_____. Lei nº 16.499, de 20 de julho de 2016. Dispõe sobre a elaboração do Mapa de Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências. **Diário Oficial da cidade de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 21 jul. 2016. Seção 1, p. 3. Disponível em: <<http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20160721&Caderno=DOC&NumeroPagina=3>> Acesso em: 18 out. 2017.

BRASILEIRO, T. C. **Mapeamento Sonoro: Estudo do Ruído Urbano no bairro Castelo Branco**, em João Pessoa/PB. 2017. 168 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

BRASILEIRO; FLORÊNCIO; ALVES; ARAÚJO; ARAÚJO. **Mapeamento acústico de dois campus universitários do nordeste brasileiro como ferramenta para planejamento urbano.** XXVII Encontro da SOBRAC, Brasília,, 2017

BRAUNSTEI E BERNDT. **SoundPlan:** Technical Manual. Versão 6.5, 2008. Disponível em: <https://soundplan.com.au/sites/soundplan.co.nz/files/Manual_EN.pdf> . Acesso em: 10 jul. 2017.

BRITO, F; COELHO, B. The creation of the noise map of the city of Fortaleza. In: INTER-NOISE, 13., 2013. **Anais...** Innsbruck: Institute of Noise Control Engineering, 2013.

BRÜEL & KJÆR Sound & Vibration Measurement. **Environmental Noise.** Apostila. 2000. Disponível em: <<https://www.bksv.com/media/doc/br1626.pdf> > Acesso em: 10 jul. 2015.

CALIXTO, A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias – grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental.** 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

CANTIERI, E. et al. Elaboração de um Mapa de Ruído para a região central da cidade de Curitiba – PR. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, v. 10, n.1, p.71-95, 2010. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/239/576>>. Acesso em: 10 jul.2017.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica.** 2.ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

CHILE. Ministério do Meio Ambiente. **Elaboración de mapa de ruido del Gran Santiago mediante software de modelación.** Informe final. 2011. Disponível em <<http://www.sinia.cl/1292/w3-article-52665.html>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

CLEMENTINO, M. L. M. ; FERREIRA, A. L. A. (Org.). **Natal:** transformações na ordem urbana. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. Disponível em: <www.observatoriodasmetropoles.net>. Acesso em: 7 abr. 2017.

CORTÊS, M. **Morfologia e qualidade acústica do ambiente construído:** Estudo de caso em Petrópolis. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

COSTA, M. S. **Mobilidade Urbana Sustentável:** um estudo comparativo e as bases do sistema de gestão para Brasil e Portugal. 2003. 131 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

COSTA, L. **Análise da mobilidade urbana de Natal/RN a partir de indicadores de sustentabilidade**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

CULLEN, G. **Paisagem Urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 1971.

DEL RIO, V. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento**. São Paulo: Pini, 1990.

DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR. Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen **RLS-90**. [s.l.]: Ausgabe, 1990.

DETRAN – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO. **Relatório estatístico da frota de veículos**. Natal, 2017. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/acervo/detran/doc/DOC000000000161970.PDF>>. Acesso em: 14 out. 2017.

DONEGAN, L. **Qual é a sua praia? Arquitetura e Sociedade em praias de Natal-RN**. 2016. 304 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo Civil) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

DONEGAN L., TRIGUEIRO E. Arquitetura e sociedade em praias de Natal, RN. In: Conferência do PNUM Morfologia Urbana e os Desafios da Urbanidade, 4. 2015, Brasília. **Anais eletrônicos...** Brasília: UNB, 2015. Disponível em: <https://www.academia.edu/16993343/Arquitetura_e_sociedade_em_praias_de_Natal_RN> Acesso em: 7 mai. 2017.

FATTORI, D.; GARAI, M. Strategic Noise mapping of the agglomeration of Bologna, Italy. In: BREBBIA, C. A. (Org.). **Urban Transport XV: Urban Transport and the Environment in the 21st Century**. [S.l.]: WITPress, 2009. Disponível em: <<http://acustica.ing.unibo.it/Researches/noisemapping/index.html>>. Acesso em: 16 out. 2016.

FILHO, U. D. **Introdução a Bioestatística**. São Paulo: Elsevier, 1999.

FORTALEZA (Município). Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Carta Acústica de Fortaleza**. Fortaleza, 2013. Disponível em: <<http://www.fortaleza.ce.gov.br/carta-acustica>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

GARAVELLI, S. L. et al. Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora: Estudo de caso de Águas Claras-DF. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL, 4, 2010, Faro. **Anais eletrônicos...** Faro: Pluris, 2010, p.1-12. Disponível em: < <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper377.pdf> >. Acesso em: 7 mai. 2017.

GERGES, S. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: S. N.Y. Gerges, 2000.

GIUNTA, M. et al. Environmental noise and conflict areas in a medium sized city. In: EURONOISE – EUROPEAN CONFERENCE ON NOISE CONTROL, 9, 2012, Prague. **Anais...** Praga: European Acoustic Association, 2012.

GUEDES, I. C. M. **Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro: Um estudo no bairro de Jardins em Aracajú (SE)**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GUERRA, J. T; CUNHA, S. B. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HAMER, M. Well Connected. **New Scientist**, Reino Unido, nov. 1999. Disponível em <<http://www.newscientist.com/article/mg16422124.700-well-connected.html>> Tradução livre por Valério Medeiros, Lucas Figueiredo e Edja Trigueiro. Acesso em: 7 maio 2017.

HILLIER, B. **Space is the Machine**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**, 2015. Disponível em: <ibge.gov.br>. Acesso em: 7 maio 2017.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. **ISO 1996-2: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels**. 2. ed. Suíça: ISO, 2007.

_____. **ISO-9613-2: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation**. Suíça: ISO, 1996.

KANG, J. **Urban Sound Environment**. EUA e Canadá: Taylor & Francis, 2007.

KOTZEN, B; ENGLISH, C. **Environmental noise barriers – A guide to their acoustic and visual design**. London: E & FN SPON, 1999.

LAMAS, J. M. R. G. Morfologia urbana e desenho da cidade. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, **2004**.

LICITRA, G; MENOLI, G. Limits and advantages of Good Practice Guide to Noise Mapping. In: EURONOISE – EUROPEAN CONFERENCE ON NOISE CONTROL, 7, 2008, Paris. **Anais eletrônicos...** Paris: European Acoustic Association, 2008. Disponível em: <<http://webistem.com/acoustics2008/acoustics2008/cd1/data/articles/002677.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

MACEDO, M. E. **Análise da interferência da legislação urbanística no crescimento do bairro de Lagoa Nova:** planos diretores de 1974, 1984, 1994. 2005. 176 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

MAIA, M. A. L. **Contribuição ao mapeamento do ruído urbano na cidade de Porto Alegre – RS.** 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MÉNDEZ, A. et al. **Acustica Architectonica.** Buenos Aires: Universidade Del Museo Social Argentino, 1994.

MENDONÇA, E. **Ruído em Santa Maria:** A contribuição do tráfego veicular em área mista (Residencial e Comercial). 2009. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MENDONÇA, A. **Relações entre índices urbanísticos da forma urbana e a acústica ambiental.** 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MORAES, E. M. L.; SIMON, F. Actualización del Mapa Acústico de Belém a través de Método de Cálculo matemático Predictivo. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 6., 2008, Buenos Aires. **Acta...** Buenos Aires: Federación Iberoamericana de Acústica, 2008.

MORAES, E. M. L.; SIMON, F.; GUIMARAES, L. H. R. Mapa de Predicción del Ruido Ambiente en Belém. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2009, Natal. **Anais....** Natal: UFRN, 2009.

MORAES, E. M. L. **Mapa acústico de Belém:** Previsão do nível de ruído ambiental através de método de simulação computacional. Relatório de pesquisa. Belém, 2010.

MOTA, S. **Planejamento Urbano e Preservação Ambiental**. Fortaleza: UFC, 1981.

MURPHY, E.; KING, E. A. Scenario analysis and noise action planning: Modelling the impact of mitigation measures on population exposure. **Applied Acoustic**, v. 72, n. 8. Dublin, 2011.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental**: diretrizes e metodologia. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

NARDI, A. S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano estudo de caso: área central de Florianópolis**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

NATAL (município). Lei Complementar nº 082, de 21 de junho de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Natal**, Poder Executivo, Natal, 23 jun. 2007. Edição Especial, n. 1169, p. 1. Disponível em: <http://portal.natal.rn.gov.br/_anexos/publicacao/dom/dom_20070623_especial.pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.

_____. Lei complementar nº 055, de 27 de janeiro de 2004. Institui o Código de Obras e Edificações do Município de Natal e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Natal**, Poder Executivo, Natal, 2004. Disponível em: <http://www.natal.rn.gov.br/bvn/publicacoes/lei_complementar_n_055.pdf>. Acesso em: _____.

_____. Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo. **Anuário Natal**. Natal: [s.n.], 2016. Disponível em <<http://natal.rn.gov.br/semurb/paginas/ctd-102.html>>. Acesso em: 15 out. 2017.

NIEMEYER, L. **Conforto acústico e térmico, em situação de verão, em ambiente urbano**: uma proposta metodológica. 2007. 194 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SANTANA, Antonio Luiz; FERNANDES, Arlindo; SAKAMOTO, Felício. **Plano Diretor de Transporte Metropolitano da Região Metropolitana de Natal**. Natal: Oficina Consultores Associados, 2008.

SEMURB. Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo. **Anuário Natal**. Natal: [s.n.], 2016. Disponível em <<http://natal.rn.gov.br/semurb/paginas/ctd-102.html>>. Acesso em: 15 out. 2017.

OLIVEIRA FILHO, M. **Ruído ambiental**: avaliação acústica de edificações em Curitiba – PR. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OMS - **Noise**. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/healthtopics/environment-and-health/noise/>>. Acesso em: 31 mai. 2016.

_____. **Guidelines for community noise**, 1999. Disponível em: <<http://www.who.int/docstore/peh/noise/gu>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

PANERAI, P. **Análise Urbana**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

PINTO D. N.; ARAÚJO, B.C.D. **Relatório de impacto ambiental da Roberto Freire – ruído**. Natal, 2013.

PINTO, D. N. **Mapeamento sonoro como ferramenta para Predição de Ruído urbano na área de influência do estádio Arena das Dunas, Natal/RN**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei nº 6.621, de 12 de julho de 1994. Dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no Estado do Rio Grande do Norte e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**. 1994.

_____. Lei nº 8.050, de 10 de janeiro de 2002. Altera a Lei nº 6.621, de 12 de julho de 1994 que dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no Estado do Rio Grande do Norte e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**. 2002.

SANCHO, V. M.; SENCHERMES, A. G. **Curso de Acústica en arquitectura**. Madrid: Colégio oficial de arqitextos de Madrid, 1982.

SANTOS, U. P. **Ruído**: Riscos e Prevenção. São Paulo: HUCITEC, 1994.

SEMURB – SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO DE NATAL. Mapas físicos do município do Natal/RN. sd. Disponível em <<http://natal.rn.gov.br/semurb/>>. Acesso em: 31 mai. 2016.

SEMURB; SEMUT. **Mapa físicos do município do Natal**. Qgis. Natal, informações cedidas do autor em 2017, referente ao ano 2008.

SERTTEL, **Registro dos radares eletrônico**. Natal, informações cedidas do autor em 2017, referente ao ano 2016.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de AR**. 6. ed. Belo Horizonte: Termo Acústica, 2011.

SIMON, F. et al. Caracterización del ruido de la ciudad de Belém. In: CONGRESSO IBERICO DE ACÚSTICO - TECNIACÚSTICA, 5., 2008.. **Actas ...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2008.

SOUNDPLAN®. Software Versão 7.1, 2011.

SOUSA, D. S. **Instrumentos de Gestão de Poluição Sonora para a Sustentabilidade das Cidades Brasileiras**. 2004. 289 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOUZA, R. B. E. **O som nosso de cada dia**: análise do comportamento da acústica urbana a partir de modificações na forma urbana. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SOUZA, D. **Mapeamento sonoro do ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, Salvador - BA**. 2012. 222 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

TSUKERNIKOV, I. et al. Russian standard for urban noise monitoring. In: EURONOISE - EUROPEAN CONFERENCE ON NOISE CONTROL, 9, 2012, Praga. **Anais...** Praga: European Acoustic Association, 2012.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. **Jornal Oficial**, n. 45, I. 189, p.12-26. 18 jul. 2002. Disponível em: < <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A32002L0049>>. Acesso em: 16 out. 2015.

UNP. **Levantamento de campo por alunos em disciplina de planejamento urbano**. Natal, 2016

VALLE, S. **Manual prático de acústica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009.

VENTURA, A. N; VIVEIROS, E; COELHO, J. L. B; NEVES, M. M. Uma contribuição para o aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhança: a gestão do ruído ambiental por mapeamento sonoro. In: Encontro da Sociedade

Brasileira de Acústica, Belo Horizonte, 22, 2008, **Anais...** Belo Horizonte, 2008, p.7.

VIANNA, K. **Poluição Sonora no município de São Paulo**: avaliação do ruído e impacto da exposição na saúde da população. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

WILIŃSKA, A; KAŻMIERCZAK, J; NIESPOREK, A. Participatory approach to noise mapping and acoustic climate management. In: EURONOISE - EUROPEAN CONFERENCE ON NOISE CONTROL, 9, 2012, Prague. **Anais...** Praga: European Acoustic Association, 2012.

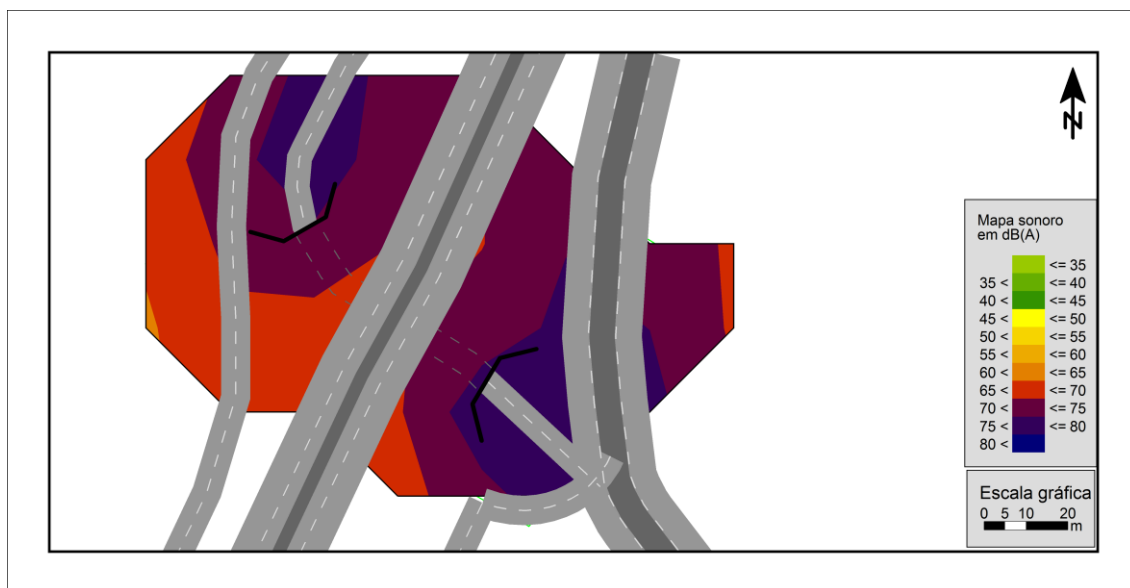
ZANNIN, P. H. T; SANTANA D. Q. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil. **Applied Acoustic**, v. 72, n. 8. p. 479–486, jul. 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A: projeção de nível de pressão sonora dos túneis

No programa de simulação computacional, o portal do túnel é considerado um objeto – quando colocado sobre um objeto rodoviário ou ferroviário, ele irá suprimir as emissões do segmento dentro do túnel. Assim, esse programa calcula as emissões do segmento dentro do túnel e simula a ruptura colocando quatro fontes pontuais na boca do túnel. O poder sonoro dessas fontes pontuais é ajustado para refletir a energia sonora que sai do túnel. Os túneis apenas influenciam o ruído em uma área local ao redor da boca do túnel. O ruído emitido por este é calculado com a norma ISO 9613/1996, independentemente da norma utilizada para processamento do ruído de tráfego (BRAUNSTEI E BERNDT, 2007)

Figura 79 – Simulação de túnel



Outra forma de cálculo é suprimindo a via do túnel e inserindo fontes pontuais na boca deste. Para inserção dos túneis, foi utilizada a metodologia advinda do *Guide du bruit des transports terrestres* – CENTRE (1980), levando em consideração os túneis com as características de uma rua em U (campo reverberante). Assim, para este caso, foram retirados e considerados fontes

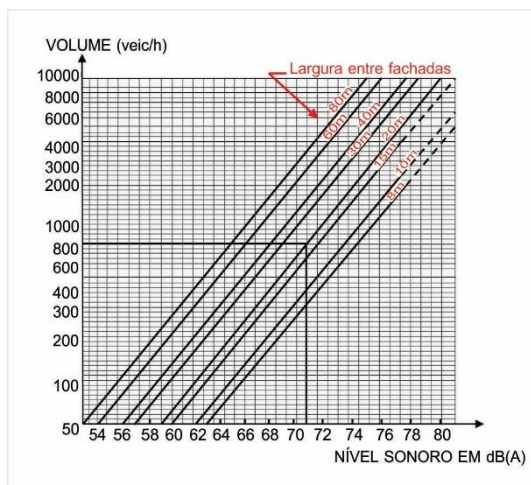
pontuais na boca de entrada e na saída, devido à reflexão do campo reverberante do túnel.

Para os cálculos das fontes pontuais, os ábacos de níveis de pressão sonora para uma rua em perfil U são realizados segundo cálculos de leitura direta com base nas características de tráfego e morfológicas do local estudado. Considerando-se os túneis com as características de uma rua em perfil U (campo reverberante), tem-se que:

$$L (eq) = L_{tunnel} + K_{PL} + K_h + K_v + K_c$$

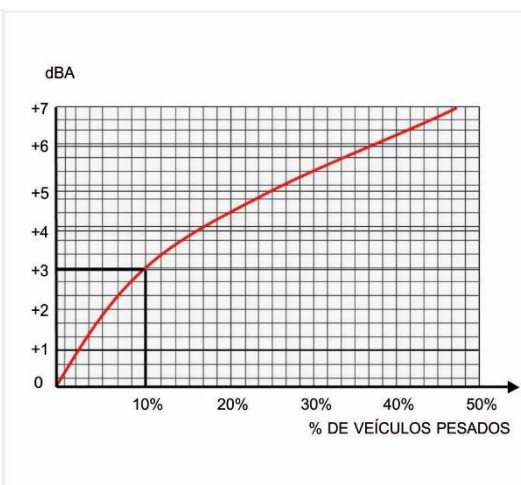
- $L (eq)$ = Nível de pressão sonora do Campo Reverberante, em decibels;
- L_{tunnel} = Nível de pressão sonora dado por leitura direta por meio da relação entre o fluxo veicular do canal considerado e a largura entre as paredes do túnel, em decibels;
- K_{PL} = faz a correção baseado na porcentagem de veículos pesados, em decibels;
- K_h = faz a correção baseado na relação entre a largura do túnel e a altura do receptor, em decibels;
- K_v = faz a correção baseado na velocidade dos veículos, considera-se o acréscimo de 1dB para veículos de base 60km/h, em decibels;
- K_c = faz a correção baseado na distância do receptor ao cruzamento, em decibels;

Figura 80 — Ábaco do nível de pressão sonora em fachada (L_{Aeq}).
Figura 81 — Ábaco da correção baseado na porcentagem de veículos pesados.



Fonte: CENTRE, 1980.

Nota: Editado e traduzido pela autora

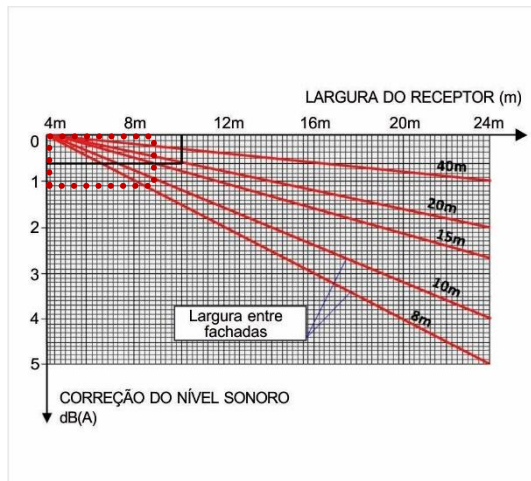


Fonte: CENTRE, 1980.

Nota: Editado e traduzido pela autora

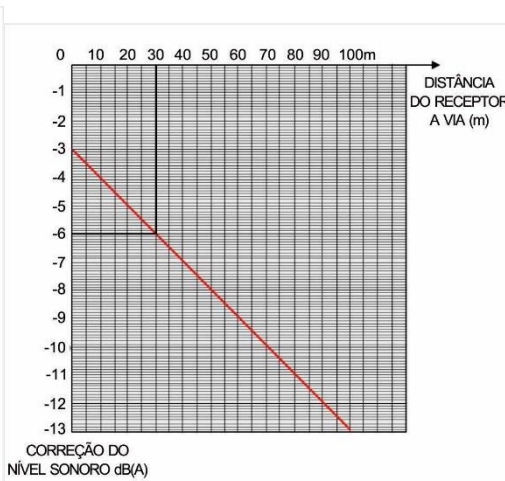
Figura 82 — Ábaco da correção baseado na relação entre a largura do túnel e a altura do receptor

Figura 83 — Ábaco da correção baseado na distância do receptor ao cruzamento.



Fonte: CENTRE, 1980.

Nota: Editado e traduzido pela autor



Fonte: CENTRE, 1980.

Nota: Editado e traduzido pela autora

Obs.: Correção de velocidade (K_C), acrescentar +1dB para velocidades acima de 60km/h, no entanto por se tratar de túneis, a velocidade é inferior a 60km/h. Logo, foi desconsiderado na correção da planilha realizada.

Os cálculos foram realizados separadamente para cada situação. Foi estimado o número de veículos com base no fluxo geral da via, dividido

igualmente pela quantidade de movimentos possíveis. Logo, tem-se que a estimativa do nível de pressão sonora em cada túnel é dado pela Tabela 30:

Tabela 32 – Dados da estimativa de nível de pressão sonora em túneis 2016

Túneis	L _{túnel}		K _{PL}		K _H		K _C		L(eq) estimado (dB)
	Veic/h/ setor	Valor gráfico	% pesado	correção	Largura do túnel	Correção	Distância do receptor	correção	
Raimundo Chaves	434	71	1	+1	7	-1	10	-3	68
Mor Gouveia	627	72	7	+2	7	-1	10	-3	70
Romualdo Galvão	1801	77	3	+1	7	-1	10	-3	74
Lima e Silva	1118	76	4	+1	10	-1	10	-3	73
Retorno Makro ¹⁴	400	71	3	+1	7	-1	10	-3	68
Retorno Campus	800	74	3	+1	10	-1	10	-3	71
Retorno Zona Norte	800	74	3	+1	10	-1	10	-3	71

Fonte: elaborado pela autora, 2017

¹⁴ Retorno Makro, Retorno Campus e Retorno Zona Norte: valores estimados pelo fluxo das principais vias no entorno

APÊNDICE B: taxa de crescimento 2012-2016 nos radares eletrônicos em Natal/RN

APÊNDICE B: RELATÓRIO MENSAL DAS LOMBADAS ELETRÔNICAS DE VOLUME DE VEÍCULOS 2012-2016 EM NATAL/RN																
		HORÁRIO	abr-12	out-12	abr-13	out-13	out-14	abr-15	out-15	abr-16	out-16	TAXA CRESCIMEN TO ABRIL2012 PARA ABRIL2016	TAXA CRESCIMEN TO OUT 2012 PARA ABRIL 2016	TAXA CRESCIMEN TO OUT 2015 PARA ABRIL 2016	TAXA CRESCIMEN TO OUT 2016 PARA ABRIL 2016	
	Lombadas eletrônicas SERTTEL															
5	A V, PRUDENTE DE MORAIS, PRÓX, A RUA SETE DE SETEMBRO , CANDELÁRIA , SENT, CENTRO -	00 - 07:59:59	88050	96700	93178	75626	94788	83192	96286	97512	94438	1,107	1,008	1,013	1,033	
		00 - 17:59:59	70948	74636	68368	55122	69812	67246	72256	68392	73998	0,964	0,916	0,947	0,924	
		Total	158998	171336	161546	130748	164600	150438	168542	165904	168436	1,043	0,968	0,984	0,985	
6	A V, JAGUARARI, CANDELÁRIA, EM FRENTE AO IMÓVEL DE Nº 4203, SENTIDO BAIRRO -	00 - 07:59:59	27914	10094	10166	12792	35328	38156	42866	41072	4336	1,471	4,069	0,958	9,472	
		00 - 17:59:59	48048	18888	20256	25582	62396	64386	73212	67660	5784	1,408	3,582	0,924	11,698	
		Total	75962	28982	30422	38374	97724	102542	116078	108732	10120	1,431	3,752	0,937	10,744	
7	A V, JAGUARARI, CANDELÁRIA, EM FRENTE AO COND, GREEN VILLAGE, SENTIDO CENTRO -	00 - 07:59:59	66290	77102	83572	39494	30424	87034	91358	90460	76822	1,365	1,173	0,990	1,178	
		00 - 17:59:59	51488	61896	65566	35770	23466	68380	69664	66292	61228	1,288	1,071	0,952	1,083	
		Total	117778	138998	149138	75264	53890	155414	161022	156752	138050	1,331	1,128	0,973	1,135	
8	A V. JAGUARARI TOTAL		193740	167980	179560	113638	151614	257956	277100	265484	148170	1,370	1,580	0,958	1,792	
		A V, BERNARDO VIEIRA, DEFRONTE AO Nº 2453, ALECRIM, SENTIDO ZONA NORTE -	00 - 07:59:59	22606	25964	26776	27612	22646	17622	24512	27098	27786	1,199	1,044	1,105	0,975
			00 - 17:59:59	38028	43312	42770	46146	31466	23978	35698	38724	42328	1,018	0,894	1,085	0,915
Total	60634		69276	69546	73758	54112	41600	60210	65822	70114	1,086	0,950	1,093	0,939		
9	A V, BERNARDO VIEIRA, DEFRONTE AO Nº 2390, LAGOA NOVA, SENTIDO PARQUE DAS DUNAS -	00 - 07:59:59	55624	62066	63134	46742	73538	65866	67474	57708	65518	1,037	0,930	0,855	0,881	
		00 - 17:59:59	44420	54740	54902	38138	61530	55354	57954	46780	62550	1,053	0,855	0,807	0,748	
		Total	100044	116806	118036	84880	135068	121220	125428	104488	128068	1,044	0,895	0,833	0,816	
10	A V. BERNARDO VIEIRA TOTAL		160678	186082	187582	158638	189180	162820	185638	170310	198182	1,060	0,915	0,917	0,859	
		PONTE NEWTON NA VARRO, A 400m DA SAÍDA DA PONTE, SENTIDO PRAIA DO FORTE	00 - 07:59:59	96498	108686	114156	49772	82706	106298	113164	96792	130314	1,003	0,891	0,855	0,743
			00 - 17:59:59	46720	50348	42768	24840	38532	54550	54714	48178	64932	1,031	0,957	0,881	0,742
Total	143218		159034	156924	74612	121238	160848	167878	144970	195246	1,012	0,912	0,864	0,742		
11	A V, HERMES DA FONSECA, EM FRENTE AO HOSP, DE GUARNIÇÃO DE NATAL, SENT PETRÓPOLIS	00 - 07:59:59	97754	108748	98894	114646	116753	113687	127749	114916	113532	1,176	1,057	0,900	1,012	
		00 - 17:59:59	86214	99194	88802	100912	96368	90201	109088	94055	97446	1,091	0,948	0,862	0,965	
		Total	183968	207942	187696	215558	213121	203888	236837	208971	210978	1,136	1,005	0,882	0,990	
12	A V, MÁRIO NEGÓCIO, QUINTAS, EM FRENTE AO IMÓVEL No 1584, SENTIDO ZONA NORTE -	00 - 07:59:59	40798	42522	40324	43028	43268	41090	36076	24546	33450	0,602	0,577	0,680	0,734	
		00 - 17:59:59	61262	61262	60706	50694	60332	56860	51738	37458	43560	0,611	0,611	0,724	0,860	
		Total	102060	103784	101030	93722	103600	97950	87814	62004	77010	0,608	0,597	0,706	0,805	
13	A V, A YRTON SENNA, NEÓPOLIS, EM FRENTE AO Nº 4387	00 - 07:59:59	32220	34596	40240	36348	34350	33116	32632	31928	38248	0,991	0,923	0,978	0,835	
		00 - 17:59:59	71130	76280	79750	78466	79044	68570	68698	71154	88106	1,000	0,933	1,036	0,808	
		Total	103350	110876	119990	114814	113394	101686	101330	103082	126354	0,997	0,930	1,017	0,816	
14	A V, PRUDENTE DE MORAIS, BARRO VERMELHO, SENTIDO PETRÓPOLIS	00 - 07:59:59	74722	76564	86192		83699	80278	85340	75931	65048	1,016	0,992	0,890	1,167	
		00 - 17:59:59	58654	61716	66508		68446	66595	69958	63515	52825	1,083	1,029	0,908	1,202	
		Total	133376	138280	152700	0	152145	146873	155298	139446	117873	1,046	1,008	0,898	1,183	
16	A V, ITAPETINGA, POTENGI, SENTIDO A V, DR, JOÃO MEDEIROS FILHO	00 - 07:59:59	44692	46728	51092	54584	32306	26962	61252	58772	18062	1,315	1,258	0,960	3,254	
		00 - 17:59:59	37048	39268	40456	39672	32074	26756	51774	48724	17556	1,315	1,241	0,941	2,775	
		Total	81740	85996	91548	94256	64380	53718	113026	107496	35618	1,315	1,250	0,951		
17	A V, ITAPETINGA, POTENGI, SENTIDO LAGOA AZUL	00 - 07:59:59	21628	25854	22398	23598	21872	20864	23230	10912	21368	0,505	0,422	0,470	0,511	
		00 - 17:59:59	39756	39372	46156	50932	41778	39798	44982	23068	21054	0,580	0,586	0,513	1,096	
		Total	61384	65226	68554	74530	63650	60662	68212	33980	42422	0,554	0,521	0,498	0,801	
A V. ITAPETINGA TOTAL			143124	151222	160102	168786	128030	114380	181238	141476	78040	1,104	0,936	0,781	1,813	
Legenda									MEDIA DO CRESCIMENTO		1,122	1,071	0,934	1,053		
dados com variância alta. Desconsiderados do estudo. Possível erro ou quebra do radar									DESVIO PADRÃO		0,143	0,233	0,053	0,356		
lombadas eletrônicas utilizadas no estudo									COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		12,715	21,755	5,658	33,843		
resultado final utilizado no estudo																

APÊNDICE C: Planilha de dados coletados das vias do município do Natal/RN

	PONTOS	LOCALIZAÇÃO	TAXA HORÁRIO TAXA CRESCIME	FLUXO HORÁRIO MATUTINO				FLUXO HORÁRIO VESPERT.				FLUXO HORÁRIO PICO- MÉDIA			CARACTERÍSTICAS										SINTAXE ESPACIAL					NPS SIMULAÇÃO AO PELA CLASSE	NPS SIMULAÇÃO AO POR DADOS	
				LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	COMPRIM- ENTO (m)	LARGURA (m)	LARG.	CAANTEIRO PAVIMEN- TAÇÃO	BAIRRO	HIERAR- QUIA	ROTA ÔNIBUS	INTERVEN- ÇÃO	axCONN	CH	INT	TD	NACH	L/D dB(A)	L/N dB(A)	L/D dB(A)	L/N dB(A)	
RADARES ELETRÔNICOS (SERTTEL, 2016)	1	Ponte Newton Navarro, sent. redinha		573	191	764		1058	353	1411		816	272	1088	1785	18,0		asfalto	Redinha	arterial												
	2	Tunel Romualdo Galvão, sent. A.Dur	2	668	223	890		1497	499	1996		1082	361	1443	2900	18,5	2,3	asfalto	Lagoa Nova	coletora	sim	sim							77,3	77,3	77,3	77,3
	3	av. felizardo moura. sentido centro		1310	437	1747		1223	408	1631		1267	422	1689	1790	16,1	1,3	asfalto	Nordeste	arterial												
	4	av. Felizardo Moura, sent. z norte		1310	437	1747		1112	371	1483		1211	404	1615	1790	16,1	1,3	asfalto	Nordeste	arterial												
	5	av. Prudente de Moraes, sentido cent	2	2846	949	3794		1865	622	2486		2355	785	3140	6935	23,0	5,0	paralel	Candelária	arterial	não	não	21	13612438	6099	258220	1,32	77,7	77,7	77,7	77,7	
	6	av. Jaguarari, sentido bairro		635	212	847		994	331	1325		815	272	1086	4355	14,0	1,0	asfalto	Lagoa Nova	arterial												
	7	av. Jaguarari, sentido centro		1430	477	1906		899	300	1198		1164	388	1552	4355	14,0	1,0	asfalto	Lagoa Nova	arterial												
	8	av. Bernardo Vieira, sentido zona norte		403	134	537		545	182	726		474	158	632	4520	24,0	5,0	asfalto	Lagoa Seca	arterial												
	9	av. Bernardo Vieira, sentido p.dunas		946	315	1261		797	266	1062		871	290	1162	4520	24,0	5,0	asfalto	Lagoa Seca	arterial												
	10	Ponte Newton Navarro, sentido Forte		1532	511	2042		629	210	838		1080	360	1440	1785	18,0		asfalto	Redinha	arterial												
	11	av. Hermes da Fonseca, s. Petrópolis	2	4094	1365	5458		3078	1026	4104		3586	1195	4781	2635	22,5	4,0	asfalto	Barro Vermelho	arterial	sim	não	75	80444048	7066	222871	1,48					
	12	av. Mário Negócio, sentido Zona Norte	2	1161	387	1548		1794	598	2392		1478	493	1970	2635	11,5		asfalto	Quintas	arterial	sim	não	13	421551360	7143	220467	1,61					
	13	av. Ayrton Senna, sent. N. parnamirir	2	939	313	1252		2099	700	2798		1519	506	2025	3536	21,0	2,0	asfalto	Neópolis	arterial	sim	não	22	20185992	5487	287019	1,34	72,9	76			
	14	av. Prudente de Moraes, s. Petrópolis		1281	427	1708		997	332	1329		1139	380	1519	6935	21,6	5,1	asfalto	Barro Vermelho	arterial												
	15	av. Prudente de Moraes, sent. L. Seca		1179	393	1572		1094	365	1459		1137	379	1516	6935	21,6	5,1	asfalto	Barro Vermelho	arterial												
	16	av. Itapetinga, Potengi, sent. J.Md Filho		857	286	1143		629	210	838		743	248	991	2184	23,0	8,5	asfalto	Potengi	coletora												
	17	av. itapetinga, sentido Lagoa Azul		150	50	200		300	100	400		225	75	300	2184	23,0	8,5	asfalto	Potengi	coletora												
PINTO FLORÊNCIO (2016)	18	av. Roberto Freire	6	1,00	3576	522	4098	76	3720	786	4506	73	3648	654	4302	3404	25,5	6,4	asfalto	Capim Macio	arterial	sim	não	35	102343510	6223	253058	1,48	74,8	76	74,7	75,9
	19	rua Adolfo Ramires	6	1,00	18	1	19	p18	6	1	7	p18	12	1	13	823	9,6		paralel	Capim Macio	local	não	não	11	431353	5280	298281	1,03	62,7	63,2	60	61
	20	av. Roberto Freire	6	1,00	3240	1122	4362	75	3378	948	4326	76	3309	1035	4344	3404	25,5	6,4	asfalto	Capim Macio	arterial	sim	não	35	107140340	6222	253129	1,49	77,8	77,3	77,8	77,3
	21	rua Ms Joel Carlson	6	1,00	126	24	150	p22	144	6	150	p22	135	15	150	1013	12,5		paralel	Capim Macio	local	não	não	6	5207966	5393	292014	1,23	63,9	63,8	65,1	64,3
	22	rua João Mota	6	1,00	138	12	150	60	222	30	252	67	180	21	201	1566	10,0		paralel	Capim Macio	local	não	não	16	252454	4801	328053	0,98	61,4	61,4	61,4	61,4
	23	rua Dirce Coutinho	6	1,00	330	6	336	p24	372	78	450	65	351	42	393	1000	10,0		asfalto	Capim Macio	coletora	não	não	11	5812414	5403	291461	1,24	65,4	68,4	67,7	68,6
	24	rua Ismael Pereira da Silva	6	1,00	342	36	378	69	138	12	150	p48	240	24	264	1550	14,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	14	255318	4806	327716	0,98	62,6	61,9	66,6	63
	25	av. Roberto Freire	6	1,00	1620	330	1950	70	2040	180	2220	70	1830	255	2085	3404	19,7	2,7	asfalto	Ponta Negra	arterial	sim	não	14	58557240	5855	269005	1,43	74,4	73,1	74,3	73
	26	av. Praia de Tibau	6	1,00	1260	120	1380	p25	2184	486	2670	p25	1722	303	2025	770	8,0		asfalto	Ponta Negra	coletora	sim	não	16	6752589	5260	299384	1,25	71,6	70,5	71,6	70,5
	27	av. Rota do sol	6	1,00	1776	330	2106	70	1716	270	1986	70	1746	300	2046	6000	17,5	2,5	asfalto	Ponta Negra	arterial	não	não	8	3283391	4843	325219	1,18	73,1	72,4	73,1	72,4
	28	av. Via Costeira	6	1,00	1872	258	2130	74	2262	588	2850	71	2067	423	2490	11772	18,5	3,2	asfalto	Ponta Negra	arterial	sim	não	3	419479	5063	311066	1,02	72,9	75,4	72,9	75,4
	29	av. Presidente Medice	6	1,00	828	414	1242	68	2076	1680	3756	76	1452	1047	2499	4425	7,0		asfalto	Igapó	arterial	sim	não	32	9909649	5494	286650	1,28				
	30	rua Acaraú	6	1,00	324	162	486	p29	570	450	1020	p29	447	306	753	1218	13,0		asfalto	Igapó	coletora	não	não	33	6306932	5908	266551	1,25				
	31	Estrada Natal-extremoz RN 360	6	1,00	726	588	1314	75	144	120	264	69	435	354	789	3613	18,5	4,0	asfalto	N. sra da Apress	arterial	não	não	20	93791592	6219	253243	1,48				
	32	av. Tomaz Landim	6	1,00	2160	1176	3336	73	606	384	990	72	1383	780	2163	8360	17,0	2,0	asfalto	N. sra da Apress	arterial	sim	não	107	284682820	6881	228891	1,58				
	33	av. Lima e Silva	6	1,00	714	360	1074	71	558	324	882	p34	636	342	978	4631	14,0		asfalto	Bom Pastor	coletora	sim	sim	38	1350393	6218	253261	1,13				
	34	av. Bom Pastor	6	1,00	240	120	360	p33	726	738	1464	66	483	429	912	1942	7,5		asfalto	Bom Pastor	coletora	sim	não	30	27902608	6311	249567	1,38				
	35	av. Laureano	6	1,00	672	834	1506	69	1974	1158	3132	71	1323	996	2319	7999	22,0	6,0	asfalto	Bom Pastor	arterial	sim	não	10	90466400	6253	251857	1,47				
	36	av. Joao medeiros	6	1,00	1770	966	2736	76	1920	1080	3000	75	1845	1023	2868	9671	13,8	1,6	asfalto	Potengi	arterial	sim	sim	68	261821680	6072	259368	1,55				
	37	av. Xavante	6	1,00	678	150	828	70	900	228	1128	70	789	189	978	4341	8,0		asfalto	Pitimbu	coletora	sim	não	45	1934837	4757	331094	1,14	69,6	71,1	69,6	71,1
	38	BR, em frente ao Assai	6	1,00	4380	1746	6126	76	4056	1938	5994	77	4218	1842	6060	11583	42,0	13,0	asfalto	Neópolis	arterial	sim	sim	23	243027680	6555	240243	1,56	76,5	76,8	76,5	76,8
	39	av. das Alagoas	6	1,00	2082	402	2484	70	1656	414	2070	70	1869	408	2277	2051	19,0	6,0	asfalto	Neópolis	coletora	sim	não	15	23291844	5707	275970	1,35	74,8	74,6	74,8	74,6
	40	av. Nascimento de castro	6	1,00	1188	186	1374	68	1422	420	1842	67	1305	303	1608	3735	23,0	6,5	asfalto	Lagoa Nova	coletora	sim	não	23	1347887	6187	254546	1,13	73	73	73	73
	41	av. Amintas Barros	6	1,00	882	300	1182	69	864	132	996	68	873	216	1089	5361	18,5	5,0	asfalto	Lagoa Nova	coletora	não	não	67	44869512	6452	244080	1,42	70,8	70,8	70,8	70,8
	42	av. Rui Barbosa	6	1,00	1440	162	1602	73	1848	168	2016	73	1644	165	1809	2165	14,0	1,0	asfalto	Lagoa Nova	coletora	não	não	30	2842433	6255	251776	1,19	71,5	72	71,5	72
	43	av. Antônio Basílio	6	1,00	870	474	1344	70	1200	468	1668	68</																				

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	TAXA HORÁRIO CRESCIMEN	FLUXO HORÁRIO MATUTINO				FLUXO HORÁRIO VESPERT.				FLUXO HORÁRIO PICO- MÉDIA			CARACTERÍSTICAS										SINTAXE ESPACIAL					NPS SIMULAÇÃO PELA CLASSE		NPS SIMULAÇÃO POR DADOS	
			LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	COMPRIMEN- TO	LARGURA (m)	LARG- LARGO	CANTEIRO	PAVIMEN- TAÇÃO	BAIRRO	HIERAR- QUIA	ROTA ÔNIBUS	INTERVEN- ÇÃO	axCONN	CH	INT	TD	NACH	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	
PINTO (2013)	57	rua Ministro Macedo Soares	1	1,12	74	10	84		74	10	84		74	10	84	534	1,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	9	1334433	5141	306334	1,12	68,1	64,5	63,7	63,1	
	58	rua Sen. Jessé Pinho Freire	1	1,12	39	1	40		39	1	40		39	1	40	375	7,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	5	415549	5140	306397	1,02	67,8	64	62,9	62,4	
	59	rua da Granada	1	1,12	31	2	34		31	2	34		31	2	34	452	5,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	12	1647369	5134	306759	1,13	65,5	61,6	61	60,4	
	60	rua do Amianto	1	1,12	19	5	24		19	5	24		19	5	24	203	5,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	3	33911	4107	383503	0,81	63,5	63,5	64,2	64,2	
	61	rua da Esmeralda	1	1,12	80	22	101		80	22	101		80	22	101	342	5,0	asfalto	Lagoa Nova	local	não	não	9	832	4430	355486	0,53	64,2	62,5	70,5	66,5	
	62	rua do Columbita	1	1,12	337	36	373		337	36	373		337	36	373	342	5,0	asfalto	Lagoa Nova	local	não	não	7	21432	4977	316454	0,79			69,7	69,7	
	63	rua do Cristal de Rocha	1	1,12	158	25	183		158	25	183		158	25	183	427	6,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	10	772661	5052	311715	1,07	66,6	63,9	68,2	68,1	
	64	marginal av. Salgado Filho	1	1,12	496	54	550		496	54	550		496	54	550	631	15,0	1,5	asfalto	Lagoa Nova	arterial	não	não	8	84977	5590	281751	0,90	74,6	74,5	74,6	74,5
	65	rua Eng. Bertholdo Gurgel	1	1,12	44	11	55		44	11	55		44	11	55	373	7,0	asfalto	Lagoa Nova	local	não	não	4	30979	5416	290761	0,82	65,6	61,5	64,2	64,2	
	66	rua do Topázio	1	1,12	43	1	44		43	1	44		43	1	44	418	7,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	7	154745	5420	290565	0,95	61,4	61,4	61,3	61,6	
	67	rua Lauro Medeiros	1	1,12	22	9	32		22	9	32		22	9	32	595	16,0	1,2	asfalto	Lagoa Nova	local	não	não	9	903056	6007	262163	1,10	62,4	61,9	64	64
	68	rua Padre Damasceno	1	1,12	403	73	475		403	73	475		403	73	475	323	15,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	3	241552	6012	261963	0,99	64,2	61,7	69,7	69,7	
	69	rua Moraes Navarro	1	1,12	377	71	448		377	71	448		377	71	448	289	10,0	asfalto	Lagoa Nova	local	sim	não	4	28178	5549	283810	0,82	62,4	60,5	67,7	67,7	
	70	rua Morton Farias	1	1,12	168	90	258		168	90	258		168	90	258	186	10,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	2	99	5675	277518	0,37	64,3	62,5	69,2	69,2	
	71	rua Fernando Barreto	1	1,12	22	12	35		22	12	35		22	12	35	173	7,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	2	1622	5737	274496	0,59	64,6	62,1	63,8	63,8	
	72	rua Fco Borges de Oliveira	1	1,12	158	54	213		158	54	213		158	54	213	577	14,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	7	65209	5771	272895	0,89	66,1	63,5	70,2	70,2	
	73	rua Marclio Furtado	1	1,12	190	41	230		190	41	230		190	41	230	519	6,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	6	74186	5567	282913	0,89	63,6	60,6	67,2	67,2	
	74	rua Macedo Lima	1	1,12	223	52	275		223	52	275		223	52	275	329	10,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	4	135388	5651	278709	0,94	71,5	69,5	69,3		
	75	rua Joaquim Vitor de Holanda	1	1,12	118	32	150		118	32	150		118	32	150	722	8,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	10	91952	5568	282850	0,91	64,2	60,6	66,9	66,9	
	76	rua Acari	1	1,12	4	0	4	55	4	0	4	53	4	0	4	75	7,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	2	162	5074	310368	0,40	61,4	61,8	58,9	59,2	
	77	rua Carneuba dos Dantas	1	1,12	27	3	30		27	3	30		27	3	30	248	8,0	asfalto	Lagoa Nova	local	não	não	5	207553	5745	274136	0,98	67,2	64,7	63,8	64,3	
	78	rua Equador	1	1,12	10	2	12		10	2	12		10	2	12	127	6,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	2	15	5079	310103	0,22	62,7	62,9	62	62,1	
	79	rua Coronel Joaquim Correia	1	1,12	36	5	40		36	5	40		36	5	40	456	7,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	5	102368	5601	281185	0,92	66,5	64,9	63,6	65	
	80	rua Rodolfo Garcia	1	1,12	76	8	84		76	8	84		76	8	84	668	7,5	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	8	103994	5780	272497	0,92	65,7	61,5	63,8	63,8	
	81	rua Mandacaru	1	1,12	50	3	54		50	3	54		50	3	54	457	6,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	5	99831	5601	281199	0,92	65,8	61,9	61,3	61,8	
	82	rua Francisco Mgnoni	1	1,12	44	9	53		44	9	53		44	9	53	524	8,0	asfalto	Lagoa Nova	local	não	não	12	5098509	6240	252383	1,24	63,8	61,2	63,3	62,5	
	83	rua Clovis Mota	1	1,12	129	16	145		129	16	145		129	16	145	443	8,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	4	1663969	6353	247902	1,15	67,4	66,4	67,6	67,5	
	84	rua Francisco Maia Sobrinho	1	1,12	26	2	28		26	2	28		26	2	28	596	6,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não	8	68897	5774	272756	0,89	66,7	64,2	63,5	63,5	
	85	av. Libania/ Raimundo Chaves	1	1,12	425	27	452		425	27	452		425	27	452	1905	9,0	asfalto	Lagoa Nova	coletora	não	não	19	20418236	6290	250386	1,35	67	65,7	65,9	65,9	
	86	rua Prof. Moura Rabelo	1	1,12	144	6	149		144	6	149		144	6	149	414	10,0	paralel	Candelária	local	não	não	4	359207	5602	281113	1,02	66,7	62,9	65,4	65,4	
	87	rua Paulo Lira	1	1,12	181	3	184		181	3	184		181	3	184	718	10,0	paralel	Candelária	local	não	não	14	929021	5735	274604	1,10	61,4	61	61,7	61,6	
	88	rua Coimbra	1	1,12	147	6	153		147	6	153		147	6	153	1114	9,0	paralel	Candelária	coletora	não	não	3	6976	4903	321191	0,70	62,1	60,3	61,6	60,6	
	89	rua João Paulo I	1	1,12	33	1	34		33	1	34		33	1	34	316	7,0	paralel	Candelária	local	não	não	2	3636	5295	297424	0,65	62,2	58	60,5	60,4	
	90	rua Madre vasconcelos	1	1,12	24	0	24	59	24	0	24	53	24	0	24	107	7,0	paralel	Candelária	local	não	não	3	38499	5351	294342	0,84	62,2	62,2	61,3	61,2	
	91	Centro Administrativo	1	1,12	128	9	137	61	128	9	137		128	9	137		7,0	paralel	Lagoa Nova	local	não	não						61,3	60,3	60,8	60,8	
	92	av. Cap. Mor Gouveia Campus	1	1,12	490	163	653	70	490	163	653	68	490	163	653	956	16,0	2,0	asfalto	Lagoa Nova	arterial	sim	não	16	5983027	5691	276735	1,25	72,8	72,8	72,8	72,8
	93	av. Romualdo Galvão	1	1,12	1500	376	1877	71	1500	376	1877	69	1500	376	1877	2900	19,0	2,5	asfalto	Lagoa Nova	arterial	sim	sim	41	247788	6268	251263	1,00	71,8	71,8	72	72
	94	av. Jerônimo Câmara	1	1,12	542	246	788	70	542	246	788	66	542	246	788	2564	13,0	1,3	asfalto	Lagoa Nova	coletora	não	não	31	876093	5816	270770	1,09	66,8	66,9	66,8	66,9
	95	av. Cap. Mor Gouveia Rodov.	1	1,12	1266	639	1905	74	1266	639	1905	73	1266	639	1905	3964	16,0	2,0	asfalto	Lagoa Nova	arterial	sim	sim	47	14608397	6001	262442	1,32	77,9	81,1	77,9	81,1
	96	av. Prudente de Moraes	1	1,12	2518	541	3059		2518	541	3059		2518	541	3059	10626	23,0	5,0	asfalto	Lagoa Nova	arterial	sim	sim	2	13545220	6217	253337	1,32	77,7	77,7	77,7	77,7
	97	Lima e Silva	1	1,12	3247	1078	4325	71	3247	1078	4325	71	3247	1078	4325	4631	23,0	5,0	asfalto	Lagoa Nova	coletora	sim	sim	7	548151	6204	253861	1,06	73,3	73,3	73,3	73,3
	98	Salgado Filho	1	1,12	6938	2223	9162		6938	2223	9162		6938	2223	9162	11583	64,0	10,0	asfalto	Lagoa Nova	arterial	sim	sim	75	365627420	7061	223029	1,60	77,6	77,6	77,6	77,6
	99	rua Drua Paulo Pinto de Abreu	1	1,12	77																											

PONTOS	LOCALIZAÇÃO	TAXA	HORÁRIO	CRESCIME	FLUXO HORÁRIO MATUTINO			FLUXO HORÁRIO VESPERT.				FLUXO HORÁRIO PICO-MÉDIA			CARACTERÍSTICAS										SINTAXE ESPACIAL					NPS SIMULAÇÃO PELA CLASSE		NPS SIMULAÇÃO POR DADOS			
					LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	COMPRIMENTO	LARGURA (m)	LARG. (m)	CANTEIRO	PAVIMENTAÇÃO	BAIRRO	HIERARQUIA	ROTA	ÔNIBUS	INTERVENÇÃO	axCONN	CH	INT	TD	NACH	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	
CORTES. 2013	110	rua Seridó	12	1,07	39	0	39	61	90	0	90	62	64	0	64	860	13,0		paralel	Petrópolis	local	não	não	14	1923787	6173	255127	1,16							
	111	rua Teófilo Brandão	12	1,07	13	13	26	62	39	0	39	59	26	6	32	415	5,0		paralel	Petrópolis	local	não	não	5	7245730	6062	259809	1,27							
	112	rua Enéas Reis	12	1,07	39	13	51	58	103	0	103	61	71	6	77	86	6,0		paralel	Petrópolis	local	não	não	2	5285	5381	292687	0,68							
	113	rua Potengi	12	1,07	835	39	874	66	797	26	823	63	816	32	848	1306	15,3	2,4	asfalto	Petrópolis	coletora	sim	não	10	1031460	6192	254360	1,11							
	114	rua Tuiuti	12	1,07	347	26	373	67	218	39	257	66	283	32	315	386	15,0		asfalto	Petrópolis	local	sim	não	7	661468	5985	263139	1,07							
	115	av. Rodrigues Alves	12	1,07	373	13	386	63	411	13	424	60	392	13	405	1796	24,0	6,5	asfalto	Petrópolis	coletora	não	não	21	5534	5439	289546	0,69							
	116	av. Afonso Pena	12	1,07	1259	51	1311	68	1362	51	1414	69	1311	51	1362	2214	23,0	5,0	asfalto	Petrópolis	coletora	não	não	22	673172	5534	284599	1,07							
	117	av. Hermes da Fonseca	12	1,07	2789	218	3007	73	3046	141	3187	73	2917	180	3097	11583	24,0	5,0	asfalto	Petrópolis	arterial	sim	sim	75	41804468	7067	222853	1,43							
	118	rua Trairi	12	1,07	141	13	154	64	206	0	206	61	174	6	180	3052	14,0		asfalto	Petrópolis	coletora	não	não	9	3290699	6182	254745	1,21							
	119	rua Trairi	12	1,07	501	26	527	67	578	26	604	67	540	26	565	3052	11,9		asfalto	Petrópolis	coletora	sim	não	7	13084148	6140	256486	1,32							
	120	rua Otávio Lamartine	12	1,07	26	0	26	58	64	0	64	57	45	0	45	407	9,0		paralel	Petrópolis	local	não	não	4	36338	5658	278349	0,84							
	121	rua Dom Jose Pereira Alves	12	1,07	51	13	64	59	51	13	64	60	51	13	64	193	6,0		asfalto	Petrópolis	local	não	não	4	29776	5345	294648	0,82							
	122	rua Mipibu	12	1,07	103	13	116	59	90	0	90	59	96	6	103	2529	13,5		paralel	Petrópolis	local	não	não	11	922679	6170	255249	1,10							
	123	rua Mipibu	12	1,07	51	13	64	59	103	0	103	56	77	6	84	2529	13,5		paralel	Petrópolis	local	não	não	11	147605	6152	255996	0,96							
	PINTO FLORÊNCIO; ARAÚJO (2012)	124	rua Nelson Bahia	12	1,07	39	0	39	0	0	0	0	19	0	19	564	7,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	4	109723	4423	356040	0,91	62,8	60,6	57,8	55,9			
125		rua João Machado	12	1,07	64	0	64	59	39	0	39	53	51	0	51	865	7,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	12	265782	4835	325702	0,98	64,1	62,8	57,1	56			
126		rua Monte Sinai	12	1,07	77	0	77	180	0	180	0	129	0	129	914	15,0	2,0	asfalto	Capim Macio	local	não	não	9	196201	4603	342155	0,96	65,3	64	58,5	60,8				
127		rua do rebaixamento	12	1,07	26	0	26	50	64	0	64	46	45	0	45	7,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	12	333038	4835	325702	1,00	64,7	63,4	55,8	57,4				
128		rua prof Bilac Faria	12	1,07	26	0	26	51	0	51	0	39	0	39	708	7,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	5	81237	4424	356021	0,88	63,7	62,4	54,9	56				
129		rua João Ferreira de Melo	12	1,07	193	0	193	61	77	0	77	55	135	0	135	1149	7,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	8	93684	4828	326214	0,90	62,8	62,6	60,3	57,9			
130		av. Gustavo Guedes	12	1,07	90	0	90	218	0	218	0	154	0	154	1040	14,0	1,0	asfalto	Capim Macio	local	não	não	9	2415606	5466	288148	1,17	62,6	61,5	57,5	59,8				
131		av. Gov. José Varela	12	1,07	604	0	604	63	603	13	616	64	604	6	610	1203	17,0	1,0	asfalto	Capim Macio	local	não	não	9	156678	4833	325857	0,94	64,8	63,7	66,5	67,6			
132		av. Odilon Gomes de Lima	12	1,07	578	0	578	745	0	745	0	662	0	662	1162	14,0	1,0	asfalto	Capim Macio	local	não	não	18	1792714	5485	287144	1,15	64,2	63,4	64,2	63,6				
133		rua Coronel Milton Freire	12	1,07	64	0	64	57	116	0	116	60	90	0	90	458	9,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	4	15012	4828	326232	0,76	64,9	63,4	62,1	64,5			
134		av. Roberto Freire	12	1,07	5449	244	5693	73	5616	167	5783	74	5533	206	5738	6656	35,0	3,0	asfalto	Capim Macio	arterial	sim	não	35	110872030	6222	253114	1,49	79,3	78,7	79,3	78,7			
135		av. Ayrton Senna	12	1,07	1144	77	1221	76	1388	13	1401	74	1266	45	1311	3806	12,0		asfalto	Capim Macio	arterial	sim	não	5	18931072	5748	273975	1,34	74,1	77,2	73,8	76,9			
136		rua Orlando Silva	12	1,07	103	0	103	218	0	218	0	161	0	161	222	7,0		paralel	Capim Macio	local	não	não	2	122	4889	322151	0,38	66	65,5	63,9	67,5				
137		Parque das dunas Mata (a 100m)	12	1,07	0	0	0	49	0	0	0	52	0	0	0	0			Capim Macio		não	não													
138		Parque das dunas Campo (a 200m)	12	1,07	0	0	0	44	0	0	0	49	0	0	0	0			Capim Macio		não	não													
139		av. Roberto Freire	12	1,07	4935	141	5077	72	5334	116	5449	74	5134	129	5263	6656	28,0	3,0	asfalto	Capim Macio	arterial	sim	não	35	98434320	6226	252944	1,48			76,4	77,6			
140		rua Neuza Farache	12	1,07	51	0	51	129	0	129	0	90	0	90	847	16,0		intertra	Capim Macio	local	sim	não	5	551417	5362	293723	1,05	58,2	58,5	58,9	60,5				
141		rua Ismael P da Silva	12	1,07	424	0	424	65	501	0	501	63	463	0	463	1726	13,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	14	239856	4802	327998	0,98	62,5	61,5	66,4	62,6			
142		rua Antonio Farache	12	1,07	103	0	103	129	0	129	0	116	0	116	852	15,0		intertra	Capim Macio	local	não	não	5	526798	5359	293856	1,05	59,9	60	59,9	60				
143		rua Ind. João Mota	12	1,07	141	0	141	64	116	0	116	62	129	0	129	1562	15,0		intertra	Capim Macio	local	não	não	16	64787	4801	328054	0,87	60,3	60,4	60,1	60,2			
144		rua Antonio Madrugá	12	1,07	26	0	26	0	0	0	0	13	0	13	634	15,0		intertra	Capim Macio	local	não	não	5	96699	4293	366880	0,90	59,9	59,8	54,6	54,5				
145		rua presb. Porfilio Gomes da Silva	12	1,07	116	0	116	59	218	0	218	60	167	0	167	1591	14,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	17	325421	4801	328062	1,00	65,1	63,8	59,4	61,3			
146		av. Roberto Freire	12	1,07	3663	116	3778	73	4074	167	4241	72	3868	141	4010	6656	28,0	2,0	asfalto	Capim Macio	arterial	sim	não	11	80245728	6153	255946	1,46	79,4	80,5	79,1	80,3			
147		rua Ernandes Hugo	12	1,07	51	0	51	90	0	90	0	71	0	71	139	7,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	5	69592	4672	337068	0,88	74,1	74,9	73,1	74,3				
148		rua Ilice Marinho	12	1,07	90	0	90	59	167	0	167	60	129	0	129	386	8,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	4	1924	4750	331571	0,59	68,6	68,6	67,2	68,6			
149		rua HF Fausto Souza	12	1,07	270	0	270	283	0	283	0	276	0	276	1035	9,0		asfalto	Capim Macio	coletora	não	não	23	4603968	5252	299853	1,22	63,9	68,1	64,1	68,4				
150		rua Luciano Bahia	12	1,07	141	0	141	64	90	0	90	58	116	0	116	386	11,0		asfalto	Capim Macio	local	não	não	4	2365	4752	331423	0,61	63,6	61,7	60				

	PONTOS	LOCALIZAÇÃO	TAXA HORÁRIA	CRESCIMENTO	FLUXO HORÁRIO MATUTINO				FLUXO HORÁRIO VESPERT.				FLUXO HORÁRIO PICO-MÉDIA			CARACTERÍSTICAS								SINTAXE ESPACIAL				NPS SIMULAÇÃO POR CLASSE		NPS SIMULAÇÃO POR DADOS					
					LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	LEQ	LEVES	PESADOS	TOTAL	COMPRIMENTO	LARGURA (m)	LARG. (m)	CANTEIRO	PAVIMENTAÇÃO	BAIRRO	HIERARQUIA	ROTA ONIBUS	INTERVENÇÃO	axCONN	CH	INT	TD	NACH	L/D dB(A)	L/N dB(A)	L/D dB(A)	L/N dB(A)		
PINTO FLORÊNCIO, ARAÚ.	158	rua Pedro F Filho	12	1,07	51	0	51	59	64	0	64	61	58	0	58	1629	7,0		paralela	Ponta Negra	local	não	não	5	285		4542	346757	0,44	63,9	63	63,5	62,8		
	159	rua José A de Carvalho	12	1,07	103	0	103		103	0	103		103	0	103	256	7,0		paralela	Ponta Negra	local	não	não	6	160826		5031	313038	0,95	64,8	60,6	60,5	60,3		
	160	av. ROBERTO FREIRE	12	1,07	2879	154	3033	73	4344	141	4485	74	3611	148	3759	6656	19,0	1,0	asfalto	Ponta Negra	arterial	sim	não	14	65687272	5856	268924	1,44	74,8	73,5	74,7	73,5			
	161	av. Praia de P Negra	12	1,07	116	0	116	64	373	0	373	67	244	0	244	1714	14,0		paralela	Ponta Negra	coletora	sim	não	5	47956	5536	284497	0,86	70,5	69,4	68,8	67,7			
	162	rua Praia B da Traição	12	1,07	13	0	13		26	0	26		19	0	19	64	7,0		paralela	Ponta Negra	local	não	não	2	33	4824	326464	0,28	63	62,4	62,2	61,8			
	163	rua Praia C São Roque	12	1,07	51	0	51	61	51	0	51	56	51	0	51	562	7,0		paralela	Ponta Negra	local	não	não	7	143028	4521	348361	0,93	65,4	64,1	59,5	59,5			
	164	rua Praia do Sagi	12	1,07	13	0	13		39	0	39		26	0	26	197	7,0		paralela	Ponta Negra	local	não	não	2	58	4184	376441	0,32	63,3	58,7	55,1	56,3			
	165	Areia Branca	12	1,07	167	64	231	67	296	0	296	64	231	32	263	520	8,0		asfalto	Ponta Negra	local	sim	não	10	537164	4683	336277	1,04	65,2	60,2	65	60,2			
	166	rua Praia do Bessa	12	1,07	13	0	13		51	0	51		32	0	32	167	7,0		paralela	Ponta Negra	local	não	não	2	34	4184	376440	0,28	64,3	59,6	55,9	57,7			
	167	av. Praia de Tibau	12	1,07	668	26	694		617	13	630		643	19	662	715	9,0		asfalto	Ponta Negra	coletora	sim	não	16	2404866	5259	299441	1,17			70,3	69,2			
168	rua Porto das Oficinas	12	1,07	51	0	51	58	77	0	77	57	64	0	64	330	7,0		paralela	Ponta Negra	local	não	não	4	146150	4638	339556	0,93	65,5	60,6	65,5	60,6				
UNP	169	av. Brigadeiro Gomes Ribeiro	4	1,00	844	60	904		300	64	364		572	62	634	1770	26,0	12,0	paralela	Nova Descoberta	coletora	não	não	7	57813	5872	268185	0,88	68,5	66,9	68,5	67			
	170	rua da Saudade	4	1,00	556	112	668		672	36	708		614	74	688	1240	9,5		asfalto	Nova Descoberta	local	não	não	10	64483	5463	288284	0,88	63,3	63,1	73,3	70,4			
	171	av. Amintas Barros	4	1,00	80	12	92		160	20	180		120	16	136	5361	14,0	2,0	asfalto	Nova Descoberta	coletora	não	não	67	3935341	6452	244109	1,22	71,9	71,9	72	71,9			
	172	rua Nélio Tavares	4	1,00	80	12	92		160	24	184		120	18	138	443	16,0	6,0	paralela	Nova Descoberta	local	não	não	7	343442	5550	283749	1,02	64,8	60,4	66,3	68,4			
	173	rua Des Sinal Pereira Dias	4	1,00	48	12	60		160	20	180		104	16	120	959	7,5		paralela	Nova Descoberta	local	não	não	6	51751	6019	261638	0,87	63,6	63,4	65	67,3			
UFRN (BRASILEIRO et al. 2017)	174	av. Romualdo Galvão	6	0,93	2264	364	2628		1704	185	1889		1984	275	2258					Candelária	coletora			41	1941377	6265	251374	1,16			73,2	73,2			
	175	rua das Exatas	6	0,94	45	0	45		157	17	174		101	8	110					Lagoa Nova	local		não							62,3	68,3	62,2	68,3		
	176	rua da Tecnologia	6	0,94	186	0	186	59	146	39	186	61	166	20	186					Lagoa Nova	local		não							63,5	69	63,5	69		
	177	rua do Agora	6	0,94	62	0	62		84	39	124		73	20	93					Lagoa Nova	local		não							61,1	68,8	61,1	68,8		
	178	rua das Engenharias	6	0,94	28	0	28		96	6	101		62	3	65					Lagoa Nova	local		não							61,7	66,8	61,7	66,8		
	179	rua das Humanidades	6	0,94	90	17	107		371	45	416		231	31	261					Lagoa Nova	local		não							67	71,2	67	71,2		
	180	rua da Biblioteca 01	6	0,94	118	0	118	61	157	11	169	62	138	6	143					Lagoa Nova	local		não							66,4	67,2	66,4	67,2		
	181	rua da Biblioteca 02	6	0,94	197	22	219		197	28	225		197	25	222					Lagoa Nova	local		não							61,8	65,3	61,8	65,3		
	182	rua da Saúde	6	0,94	186	17	202		270	62	332		228	39	267					Lagoa Nova	local		não							67,9	71,6	67,9	71,6		
	183	rua das Sociais Aplicadas	6	0,94	247	34	281		281	51	332		264	42	306					Lagoa Nova	local		não							70	71,3	70	71,3		
	184	rua da Reitoria	6	0,94	180	28	208		259	22	281		219	25	245					Lagoa Nova	local		não							66,5	66,7	66,4	66,7		
	185	rua do Meio Ambiente	6	0,94	394	67	461		512	90	602		453	79	531					Lagoa Nova	local		não							71,1	72,2	71,1	72,2		
	186	Acesso secundário Reitoria	6	0,94	45	22	67		0	11	11		22	17	39					Lagoa Nova	local		não							63,6	67	63,6	67		
	187	rua da Reitoria	6	0,94	107	6	112		129	39	169		118	22	141					Lagoa Nova	local		não								63,6	62			
	188	rua da Convivência	6	0,94	141	11	152	60	186	17	202	67	163	14	177					Lagoa Nova	local		não							66,5	67,8	66,5	67,8		
	189	rua das Biotecnologias	6	0,94	118	0	118		101	11	112		110	6	115					Lagoa Nova	local		não							62	64,4	62	64,4		
	190	Entrada estacionamento da Reitoria	6	0,94	51	17	67		51	6	56		51	11	62					Lagoa Nova	local		não									66	64,4		
	191	rua Cel. João Medeiros	6	0,94	1136	219	1355		877	186	1063		1006	202	1209					Lagoa Nova	local		não							71,5	70,5	71,5	70,5		
	192	rua do Meio Ambiente	6	0,94	579	112	692	67	686	101	787	67	632	107	739					Lagoa Nova	local		não							70,9	70,3	70,9	70,3		
	193	av. Passeio dos Girassóis	6	0,94	461	180	641		630	101	731		545	141	686					Lagoa Nova	local		não							70,6	69,8	70,6	69,8		